

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ*FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MİKRODENETLEYİCİ KONTROLLÜ ULTRASONİK
TEMİZLEME MAKİNESİ TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS

Elo. Hab. Müh. Cemile TANGEL

Anabilim Dalı: Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Mehmet YAKUT

KOCAELİ, 2009

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MİKRODENETLEYİCİ KONTROLLÜ ULTRASONİK
TEMİZLEME MAKİNESİ TASARIMI**

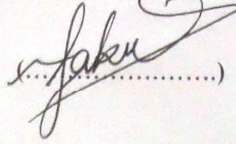
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Elo. Hab. Müh. Cemile TANGEL

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 22 Mayıs 2009

Tezin Savunulduğu Tarih: 14 Temmuz 2009

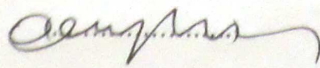
Tez Danışmanı

Yrd. Doç. Dr. Mehmet YAKUT



Üye

Doç. Dr. Oğuzhan URHAN



Üye

Yrd.Doç. Dr. Ahmet Turan ÖZCERİT



KOCAELİ, 2009

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Mikrodenetleyicilerin geliştirilmesi ile endüstriyel otomasyonda büyük bir çığır açılmış oldu. Mikroişlemci temelli elektronik devreler giderek yaygınlaşarak çok değişik uygulama alanlarında yerini aldı. Cihazların küçültülmesi ve ortaya çıkan yeni ihtiyaçlar sebebi ile gerek hız ve gerekse de işlem kapasitesi yönünden daha gelişmiş mikroişlemci yongaları tasarlanarak piyasaya sunulmuştur. İçlerinde analog sayısal dönüştürücü de bulunan PIC mikrodenetleyicileri bunlara güzel bir örnektir. Bu elemanlar sensör tabanlı endüstriyel otomasyon uygulamalarında biz tasarımcılara çok büyük kolaylıklar sağlamaktadır.

Bu tez çalışmasında, endüstriyel üretim ve laboratuvar çalışmalarında kullanımı gün geçtikçe yaygınlaşan ultrasonik temizleme sistemlerinin elektronik devrelerinin tasarımında, gelişmiş bir PIC mikrodenetleyicisinin avantajlarından maksimum oranda faydalanılması düşünüldü. Yapılan piyasa ön araştırmaları sonucunda ülkemizde bu konuda üretim yapan firmaların nerede ise tümünün tamamen eski ve analog tabanlı ultrasonik üreteç devreleri yapısında oldukları, mikrodenetleyici temelli daha gelişmiş ürünlerin ise yurt dışı pazarlardan ithal edildikleri anlaşılmıştır. Bu konudaki dışa bağımlılığı ortadan kaldırmak ve güzel bir üniversite sanayi işbirliği gerçekleştirmek amacı ile bu yüksek lisans tez çalışması başlatılmış oldu. Bu çalışma Everest Elektromekanik San. Tic. Ltd. Şti. ile Sanayi ve Ticaret Bakanlığı destekli 126STZ2007-02 sayılı SANTEZ projesi kapsamında desteklenmiştir.

Proje çıktısı olarak Everest Elektromekanik San. Tic. Ltd. Şti. tarafından yurt içi ve yurt dışı pazarlarda satışa sunulabilecek mikrodenetleyici tabanlı çoklu frekans özellikli ultrasonik bir temizleme makinesinin prototipi gerçekleştirilmiş oldu. Ulusal katma değeri yüksek çıktısı olan bir yüksek lisans tez çalışmasını yapmama imkan tanıdıklarından dolayı öncelikle projeyi destekleyen kuruluşlara teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışmalarım sırasında karşılaştığım her türlü zorluklarda beni sabırla dinleyen ve cesaret veren değerli bilgi birikimini benimle paylaşan kıymetli hocam ve tez danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Mehmet YAKUT'a ne kadar teşekkür etsem azdır.

Proje ekibinde yer alan Arş. Gör. Oktay AYTAR ve Murat SÖNMEZ'e de katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Uzun yıllardır yaşamımın her safhasında yer alan, beraberce hayatı keşfettiğimiz en iyi arkadaşım ve bu tez çalışmasında da maddi manevi desteklerini benden esirgemeyen sevgili eşim Yrd. Doç. Dr. Ali TANGEL'e teşekkür eder meslek hayatında başarılarının devamını dilerim.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLOLAR DİZİNİ.....	vi
SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR.....	vii
ÖZET.....	viii
İNGİLİZCE ÖZET.....	ix
BÖLÜM 1. GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2. ULTRASONİK DALGALAR.....	3
2.1. Ultrasoniğin Tanımı	3
2.2. Ses Dalgası ve Yayılımı	4
2.3. Ses Dalgalarının Doğası	5
BÖLÜM 3. ULTRASONİK TEMİZLEME.....	7
3.1 Ultrasonik Temizlemenin Temel Prensipleri	7
3.2 Ultrasonik Temizleme Sistemini Oluşturan Parçalar.....	10
3.2.1 Dönüştürücüler (Transducers).....	10
3.2.1.1 Elektromanyetik (magnetostrictive) dönüştürücüler.....	10
3.2.1.2 Piezoelektrik(Piezoelectric) dönüştürücüler	11
3.2.1.3. Daldırılabilir tip dönüştürücüler	15
3.2.1.4. Yüksek ve düşük çalışma frekanslarının karşılaştırılması	15
3.2.2. Ultrasonik jeneratörler	17
3.2.2.1. Darbe kontrollü jeneratörler	18
3.2.2.2 Tam dalga/yarım dalga ve darbe kontrolleri	19
3.2.3 Ultrasonik temizleme tankları	19
3.2.3.1. Ultrasonik temizleme tanklarının yapısı	20
3.2.3.2. Temizleme tankının büyüklüğü ve yüklenmesi	21
3.2.3.3 Bir ultrasonik tanktaki güç seviyesini ölçmek ve doğru güç seviyesini belirlemek.....	22
3.2.4. Ultrasonik temizlemede kullanılan çözeltiler.....	23
3.2.4.1. Temizleme işleminde iyonizeden arındırılmış su kullanımı	24
3.2.4.2. Temizlemede kimyasal kullanımının önemi	25
3.2.4.3. Sulu temizleme çözeltisi	25
3.2.4.4. Ultrasonik temizlemede yanıcı çözücülerin kullanımı.....	25
3.2.4.5 Ultrasonik temizlemede filtreleme işlemi	26
3.3. Kavite Erozyonu (Cavitation Erosion).....	27
3.4. Multi Frekans Özellikli Ultrasonik Temizleme Sistemleri	27
3.5. Ultrasonik Temizleme Sürecinde Optimizasyon	29
3.5.1. Ultrasonik dalganın genliği ve frekansı	29
3.5.2 Sıvının buhar basıncı, yüzey gerginliği, yoğunluğu ve kayganlığı.....	31
3.5.3. Statik sıvı koşulları ve akış karakteristiği	33
3.5.4. Sıvıdan gazı giderme (degassing) olayı ve temizlemeye etkisi	33
3.5.5 Temizleme etkisinin maksimize edilmesi	35

BÖLÜM 4. MİKRODENETLEYİCİ TABANLI ULTRASONİK TEMİZLEME MAKİNESİNİN TASARIM AŞAMALARI	38
4.1 Sistemin Mimarisi	38
4.2. Mikrodenetleyici Seçimi	39
4.3. Yarım Köprü(half bridge) PWM Modu ile DC/AC Dönüştürme Metotları	39
4.3.1. Programlanabilen ölü bant gecikmesi (programmable dead-band delay).....	41
4.3.2. Programlanabilen ölü bant gecikmesi ile güç kontrolü.....	42
4.4. Güç Devresi ve Çalışma Prensipleri.....	44
4.5. Program Akış Şeması.....	45
4.5.1. Çalışma Frekansının Ayarlanması	49
4.5.2. Güç kontrolü	51
4.5.3. Sıvıyı gazdan arındırma	51
4.5.4. Emniyet tedbirleri.....	53
4.5.5. Tank suyu sıcaklık kontrolü.....	54
4.5.6. Display kontrolleri	55
4.5.7. Değişen rezonans frekansını otomatik olarak yakalayabilme	55
5. ÇALIŞMA MODLARI VE TEST SONUÇLARI	59
5.1 Çalışma Modları.....	59
5.1.1 Sabit frekansta çalışma.....	59
5.1.2 Belli bir frekansta frekans süpürmeli çalışma.....	59
5.1.3 Yakalanan rezonans frekansında çalışma.....	59
5.1.4 Rezonans frekansında frekans süpürmeli çalışma.....	60
5.1.5 Gaz Giderme(degas) programı (anahtarlama çalışması)	60
5.2 Folyo Testi ve Önemi.....	61
5.3 Folyo Testi Sonuçları	61
5.4 Test Düzenegi ve Ölçüm Sonuçları.....	65
BÖLÜM 6. MULTIFREKANS ÇALIŞMA MODU	70
BÖLÜM 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	72
KAYNAKLAR	74
ÖZGEÇMİŞ	76

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1: Bir cisme çarpan dalganın yansıması ve absorbe edilmesi.....	3
Şekil 2. 2: Ses dalgasının meydana gelmesi [1].....	4
Şekil 2. 3: Ses dalgasının yayılımı [1]	5
Şekil 3. 1: Bir ultrasonik temizleme sistemi düzeneği [13]	7
Şekil 3.2: Basıncı arttırılmış ve basıncı azaltılmış dalgaların ultrasonik frekans etkisiyle oluşumu	8
Şekil 3. 3: Bir kavitasyon kabarcığının patlaması [12].....	8
Şekil 3. 4: Sıvı içinde kavitasyon sonucu meydana gelen patlama [1]	9
Şekil 3. 5: Elektromanyetik dönüştürücü yapısı [1].....	11
Şekil 3. 6: Piezo seramik bir dönüştürücünün iç yapısı ve temizleme tankına bağlanması [1]	12
Şekil 3. 7: Çeşitli Dönüştürücü Resimleri [13]	13
Şekil 3. 8: Daldırmalı tip dönüştürücü yapıları [13]	15
Şekil 3. 9: Ses dalgasının frekansa göre yüzeyden uzaklığı [14].....	16
Şekil 3.10: Farklı frekanslarda kavitasyon kabarcık boyutları [11].....	17
Şekil 3.11: Değişen frekanslara karşılık gelen bağlı güçler [14]	17
Şekil 3.12: Ultrasonik jeneratörle düşük frekanslı sinyalden yüksek frekanslı sinyal elde etme [1].....	18
Şekil 3.13: Darbe kontrollü ultrasonik üreteç çıkışı	18
Şekil 3.14: Tam dalga ve yarım dalga darbe kontrolleri [13]	19
Şekil 3.15: Örnek bir temizleme tankı ve jeneratörü [13].....	20
Şekil 3.16: Yanıcı çözelti kullanılan bir temizleme sistemi düzeneği [13].....	26
Şekil 3.17: Kavitasyon kabarcığı	27
Şekil 3.18: Tankın içinde birden fazla frekansların olduğu durumlar [11].....	28
Şekil 3.19: Süpürmeli frekanslı çalışma.....	29
Şekil 3.20: Sıvı içindeki duran dalgalar	30
Şekil 3.21: Ultrasonik dalga formları.....	31
Şekil 3.22: Sıvıda çözünmüş gazlar bulunduğunda hava baloncuklarının durumu ...	34
Şekil 3.23: Temizleme zamanının ultrasonik ve kimyasal etkiye karşı değişimi [1].	35
Şekil 3.24: Litre değeri arttıkça litre başına güç [1].....	36
Şekil 4. 1: Tasarımlanan ultrasonik temizleme makinesinin blok şeması	38
Şekil 4. 2: ECCP modülünde Yarım-Köprü Modunu kullanarak DC akımdan AC akım elde etme (Tezde kullanılan yöntem) [23]	40
Şekil 4. 3: Standart yarım köprü devresi(push-pull) [23]	40
Şekil 4. 4: Tam köprü devresi [23].....	41
Şekil 4. 5: Yarım-köprü PWM modunun çıkışı(ECCP) [23].....	42
Şekil 4. 6: Gücün değişimi ile iş zamanının değiştirilmesi.....	43
Şekil 4. 7: Güç devresi prensip şeması.....	44
Şekil 4.8: Program akış diyagramı	46
Şekil 4. 9: HS osilatör için bağlantı şekli [23]	49
Şekil 4. 10: Mod7 çalışma programı algoritması	52
Şekil 4. 11: Sıvı sıcaklığı kontrolü algoritması.....	54

Şekil 4. 12: Geri besleme devresi.....	56
Şekil 4.13: Rezonans frekansını yakalama algoritması.....	58
Şekil 5. 1: Sabit frekansta çalışma	62
Şekil 5. 2: Sabit frekansta süpürmeli çalışma	63
Şekil 5. 3: Belli frekans aralığında tarayarak rezonans frekansını bulma ve rezonans frekansını bulunca bu frekans civarında süpürmeli çalışma	63
Şekil 5. 4: Rezonans frekansı etrafında 8 adımda 0.5 sn aralıklarla süpürmeli çalışma	64
Şekil 5. 5: Rezonans frekansı etrafında 4 adımda 0.1sn aralıklarla süpürmeli çalışma	64
Şekil 5. 6: Rezonans frekansı etrafında 8 adımda 0.05sn aralıklarla süpürmeli çalışma.....	65
Şekil 5. 7: Ultrasonik Ölçüm Probu	66
Şekil 5. 8: Mikrodenetleyicili kontrol kartı ve güç devresi.....	66
Şekil 5. 9: Temizleme tankı altına yapıştırılmış toplam 8 adetlik ultrasonik dönüştürücüye uygulanan elektriksel sinyalin osiloskop görüntüsü.....	67
Şekil 5.10: Ölçüm probu yoluyla sıvı üzerinden gözlenen ultrasonik işaret	67
Şekil 5.11: Güç ölçümü için kullanılan Watmetre	68
Şekil 5.12: Mod 4 te çalışırken 1 saniyelik adımlarla ard arda watmetre üzerinden okunan güç değerleri değişimi	68
Şekil 5.13: Mod 5 te çalışırken 1 saniyelik adımlarla ard arda watmetre üzerinden okunan güç değerleri değişimi	68
Şekil 5.14: Mod 7 de çalışırken 1 saniyelik adımlarla ard arda watmetre üzerinden okunan güç değerleri değişimi.....	69

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 2. 1: Sesin değişik ortamlardaki yayılma hızı	5
Tablo 4. 1: “Per” değişkenin değişik değerlerine karşılık gelen f_{pwm} değerleri ...	53
Tablo 5. 1: Frekans süpürmeli çalışma modları ve özellikleri	61

SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR

kHz	: Kilo hertz
MHz	: Mega hertz
Mil	: Deniz mili= 1.8522 m
V	: Volt
PLC	: Programmable Logic Controller
N/cm	: Newton/cm
PIC	: Peripheral Interface Controller
PWM	: Pulse Width Modulation
ECCP	: Enhanced Capture Compare PWM
MOSFET	: Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor
PWM1CON	: Pulse Width Modulation Control Register
CCS-C	: Custom Computer Services
HS	: High speed
ADC	: Analog to Digital Converter

MİKRODENETLEYİCİ KONTROLLÜ ULTRASONİK TEMİZLEME MAKİNESİ TASARIMI

Cemile TANGEL

Anahtar Kelimeler: Ultrasonik Dönüştürücüler, Ultrasonik Temizleme, Mikrodenetleyiciler

Özet: Bu çalışmada 28 kHz lik ultrasonik temizleme makineleri için mikrodenetleyici tabanlı geliştirilmiş kontrol özelliklerine sahip bir ultrasonik üreteç devresinin sürücü ve güç kartı tasarımı gerçekleştirilmiştir. Çalışmada ultrasonik frekansların yüzey temizliğinde kullanımı ve öneminden bahsedilmiştir. Tasarımlanan üreteç, temizleme tanklarındaki yük değişimlerinden kaynaklanan ultrasonik dönüştürücülerdeki rezonans frekansı sapmaları sonucu güç ve temizleme verimliliğindeki azalma problemlerine karşı çözüm olarak otomatik frekans kontrolü yapabilme yeteneğine sahiptir. Bu amaca yönelik olarak özel bir algoritma geliştirilmiştir. Dar bir bantta frekans taramalı çalışma özelliği sayesinde daha homojen bir temizleme örüntüsü elde edildiği folyo testleri ile gözlenmiş olup sonuçları tezde yer almıştır. Bunların yanında sıcaklık ve zamanlama kontrolü, ve güç katındaki olası kısa devre problemlerine karşı önlemler de tasarımılanan üretecin ek özellikleri arasındadır. Tasarımlanan üreteç yazılımsal olarak yapılacak ilavelerle kolayca çok frekanslı ultrasonik temizleme makinesi tasarımları için de kullanılabilir hale gelebilmektedir.

Tez raporunda ultrasonik dalgaların tanımı ve doğası, ultrasonik temizleme konusu, mikrodenetleyici tabanlı ultrasonik temizleme makinesinin tasarım aşamaları yazılım ve donanım yönleri, çalışma modları ve folyo testi sonuçları, çok frekanslı çalışma modu yer almıştır.

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A MICROCONTROLLER BASED ULTRASONIC CLEANING MACHINE

Cemile TANGEL

Keywords: Ultrasonic Transducers, Ultrasonic Cleaning, Microcontrollers

Abstract: In this study, driver and power units of a microcontroller based ultrasonic generator, which has advanced controlling functions are designed and implemented for 28 kHz ultrasonic cleaning machines. The importance and usage of ultrasonic frequencies for surface cleaning purposes are addressed. The designed generator has the ability of automatic frequency control as a solution to the problems of degradation on power and cleaning efficiencies results from the resonant frequency deviations of ultrasonic transducers due to load changes on cleaning tanks. For this purpose, a special software algorithm has been developed. Since its operation has the property of frequency sweeping in a narrow frequency band, more homogenous cleaning patterns have been observed after the foil tests, and the related results are included in this report. Moreover, temperature and timing controls, and also protections against possible short circuits in the power unit are among the additional properties of the designed generator. It can easily be adaptable to the multifrequency ultrasonic cleaning systems by additional commands into the software running on the microcontroller.

In the thesis report, definition and nature of ultrasonic waves, ultrasonic cleaning phenomena, design steps of the ultrasonic cleaning machine, software and hardware aspects, operation modes, foil test results, and multifrequency operation mode are included.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Endüstrinin pek çok alanında uzun süredir kullanılan temizleme çeşitleri vardır. Bunlar asit temelli buharla yağ çözme yöntemleridir, fakat bu temizleme yöntemleri ozon tabakası için zarar vericidirler. Oysa dünyamızı korumak için çevre dostu olan temizleme yöntemleri gereklidir. Bugün endüstride temizlik geçmişte hiç olmadığı kadar önem kazanmış ve bu yüzden sürekli olarak gelişmesi gerekmiştir. Mesela, büyüyen teknolojinin temel dayanağını oluşturan elektronikte temizlik her zaman çok önemli olmuştur. Görünen o ki teknolojiadaki ilerlemelerin başarılı olması için temizliğe çok önem vermek gerekir [1].

Temizlik endüstrisinde bugün, kimyasal çözücülerin yerine doğaya dost alternatif temizleme yöntemleri kullanılarak temizleme teknikleri geliştirilmeye çalışılmaktadır. Bunlar su temelli, yarı sulu ve petrol temelli temizleyicilerdir. Fakat bu temizleme yöntemleri çoğunlukla temizleyici olarak kimyasal çözücülere oranla daha az etkilidir ve istenilen kalitedeki temizlik elde edilememektedir[1].

Temizlik endüstrisi istenilen temizliği sağlamak için araştırmalar yapmış ve son yıllarda elde edilen yeniliklerin pek çoğunu ultrasonik temizleme yöntemleri teşkil etmiştir. Ultrasonik temizlik genellikle hassas temizlemelerde, hızlı, ucuz, güvenilir ve daha kaliteli temizlik sağladığı için kimyasal temizliğe alternatif olarak kullanılır [2].

Ultrasonik temizleme 1930 ların başında New Jersey de kurulmuş Radio Corporation of America (RCA) adlı firmanın araştırma laboratuvarlarında farkında olunmadan bulunmuştur. Bir radyonun içindeki parçaları soğutmak için freon gazı kullanılırken 300 kHz de çalışılan bir kristalin etrafında dalga hareketinin meydana geldiğini fark edildi. Ancak fark edilen bu ilginç karakteristiğin bir temizleme metodu olduğu yıllarca anlaşılamadı. Ultrasoniğin temizlik amacı ile kullanımı 1950’li yıllarda başlamıştır. Seçilen frekans 18-40 kHz arasındır. En düşük frekans olan 18 kHz bugün bile hala endüstride rutin olarak kullanılmaktadır. 1980’ lerin sonuna kadar ticari

olarak, 25-40 kHz frekans aralığı kullanıldı. Ultrasonikte bu frekans aralığında çalışma ile piyasada, özellikle kirlerin ve yağların temizlenmesinde binlerce uygulama alanı bulundu. 40' kHz üzerindeki yüksek frekanslar optik, kuyumculuk, elektronik ve bilgisayar endüstrisinin temizlik alanında kullanılmaya uygundurlar. Çünkü çalışılan frekans değeri arttıkça temizleme sırasında daha ince bölgelere erişilebilme özelliği ortaya çıkar. Ancak bu sefer de temizleme gücü düşmektedir. Ağır kirlerin temizlinde ise temizleme gücünün yüksek olması birinci faktördür. Bu nedenle iki veya daha fazla frekansın birlikte kullanıldığı uygulamalar da vardır. Temizlenecek malzemede hem kaba hem de ince temizliğe ihtiyaç varsa iki frekans birlikte kullanılabilir [3,4].

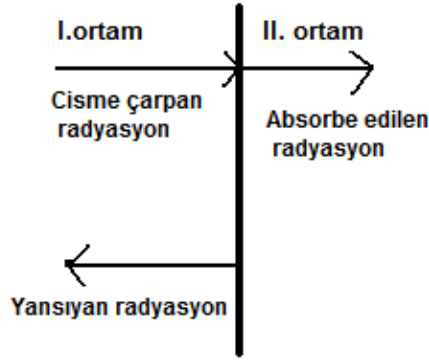
Ultrasonik temizleme sistemleri ultrasonik jeneratör devresi, altına ultrasonik dönüştürücü monte edilmiş temizleme tankı ve temizleme çözeltisi olmak üzere üç ana birimden oluşur. Bu birimlerin her biri bir mühendislik optimizasyon problemi olarak ele alınması gereken unsurlardır. Bu tez çalışmasında bu konulara değinilmiştir.

Tez raporunda ultrasonik dalgaların tanımı ve doğası hakkında bilgilere Bölüm 2' de yer verilmiştir. Bölüm 3' te ultrasonik temizleme konusu ele alınmıştır. Mikrodenetleyici tabanlı ultrasonik temizleme makinesinin tasarım aşamaları yazılım ve donanım yönleri ile Bölüm 4' de açıklanmıştır. Çalışma modları ve folyo testi sonuçları Bölüm 5' te yer almaktadır. Çoklu frekans çalışma modu Bölüm 6' da anlatılmıştır. Bölüm 7' sonuçlar ve önerilerden oluşmaktadır.

BÖLÜM 2. ULTRASONİK DALGALAR

2.1. Ultrasoniğin Tanımı

Ultrasonik insan kulağının duyabileceği sınırın üzerindeki (16 kHz ve üzeri) mekanik ses dalgalarının bilimidir [5,6,7]. Herhangi bir elektro manyetik dalga yayılımında olduğu gibi, ultrasonik bir dalga da herhangi bir cisme çarptığı zaman bir kısmı yansır, bir kısmı cisim tarafından absorbe edilir bir kısmı da engeli aşar. Şekil 2. 1. de bu durum görülebilir. Eğer ses dalgası yansıtıcı cisme doğru yaklaşıtlırsa yansıyarak ve alınan dalgaların frekanslarında değişme olur (Doppler etkisi). Dalganın yansıdığı cisimle olan bu etkileşmesi bazı fiziksel büyüklüklerin ölçümünde ve hareketli cisimlerin hızını izlemede kullanılmaktadır. Ultrasoniğin içeri işleyebilme özelliği de vardır. Bu özelliği sayesinde tıpta da kullanılmakta ve röntgen ışınlarına göre daha güvenilir olduğu bilinmektedir [8].



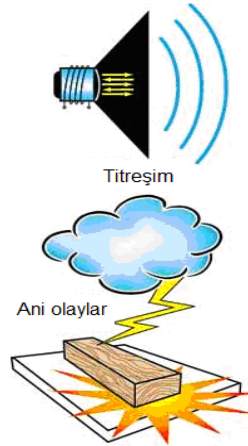
Şekil 2.1: Bir cisme çarpan dalganın yansıması ve absorbe edilmesi

Ses dalgalarının frekansı onun tonunu belirler. Düşük frekanslı dalgalar kalın tonda (bas), yüksek frekanstaki dalgalar ince tonda (tiz) ses oluştururlar. Ultrason öyle yüksek tonda bir ses dalgasıdır ki insan kulağı ile duyulamaz. 18 kHz in üzerindeki sesler genellikle ultrasonik olarak dikkate alınırlar ve 20-120 kHz aralığındaki ses dalgaları da ultrasonik temizlik için kullanılır, fakat daha yüksek frekanslara da (Örneğin 400 kHz) çıkmıştır. Endüstrideki temizliklerde en çok kullanılan

frekanslar 20-50 kHz arasındadır. 50 kHz in üzerinde ki frekanslar masaüstü ultrasonik temizleyicilerde, bunlar da daha ziyade kuyumculuk, diş hekimliği ve yarıiletken alanlarındaki temizlik işlerinde kullanılmaktadır [9].

2.2. Ses Dalgası ve Yayılımı

Ultrasoniğin temelini anlamak için önce ses dalgalarının nasıl oluşturulduğunu ve iletim ortamında nasıl yayıldığını anlamak gerekir. İletim ortamında (katı,sıvı,gaz) tek ya da ardı ardına gelen yer değiştirmeler oluşturulduğunda, mesela iletim ortamındaki moleküllerin ani bir yer değiştirmesi veya titreşim hareketleri ses dalgalarını oluşturur. Sesin iletim ortamındaki ani yer değiştirmesine düz bir tahtanın beton bir yüzeye yüksek bir yerden geniş yüzü üzerine düşüşü örnek verilebilir (Şekil 2.2). Bir hoparlörün çalışması esnasında konisindeki havanın yer değiştirmesi durumu mekanik hareket tarafından oluşturulan titreşimli ses dalgalarına güzel bir örnektir. Hoparlör konisi ileri geri hareket ederken koninin önündeki hava sıkıştırılıp serbest bırakılarak ses dalgası oluşturulur ve bunlar yok olana kadar havada hareket eder [1].



Şekil 2. 2: Ses dalgasının meydana gelmesi [1]

Ses dalgaları katı, sıvı ve gaz ortamlarında yayılabilirler ve yayılırken hızları bu ortamların özelliklerine bağlı kalır. Tablo 2.1’ de bu durum belirtilmiştir. Ses dalgaları frekanslarına göre üçe ayrılır. Bunlar:

1. Ses altı (infrasonic) dalgalar, duyulabilen frekans altındaki ses dalgalarıdır. Deprem dalgaları bunlara örnektir.

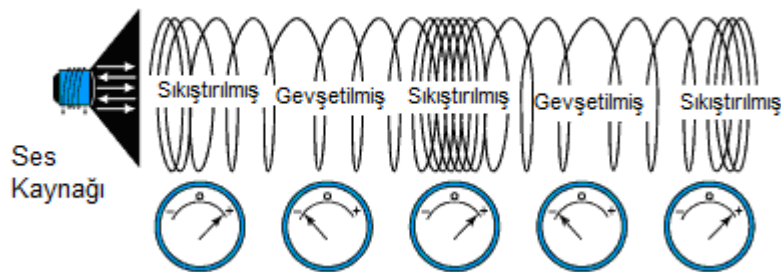
2. Duyulabilen dalgalar, insan kulağının duyabileceği sınırlar içindeki ses dalgalarıdır ve 16 ile 18 000 Hz arasındadır.
3. Ses üstü (ultrasonic) dalgalar, işitilebilir frekansın üzerindeki ses dalgalarıdır. 18 kHz ve üstü ses dalgalarıdır. Bunlar quartz kristaline alternatif akım uygulanması ile elde edilebilir.

Tablo2.1: Sesin değişik ortamlardaki yayılma hızı [10]

Ses dalgasının değişik ortamlardaki yayılma hızı	
Sıfır derecedeki havada	331 m/sn
20 derecedeki havada	343 m/sn
Sıfır derecedeki helyum gazı	972 m/sn
25 derecedeki suda	1493 m/sn
Deniz suyunda	1533 m/sn
Alüminyumda	5100 m/sn
Bakırda	3560 m/sn
Kauçukta	54 m/sn

2.3. Ses Dalgalarının Doğası

Şekil 2.3’ te görülen sarmal yay gösterimi sesin iletim ortamındaki bireysel moleküllerini temsil eder. İletim ortamındaki komşu moleküller birbirlerini iterler, tıpkı sarmal yaydaki bitişik yayların birbirlerini itmesi gibi. Soldaki ses kaynağının etkisi ile her bir yay komşusu olan yayı iterek ilerlerken ses kaynağı tarafından sıkıştırılmalar oluşturulmuş olur.



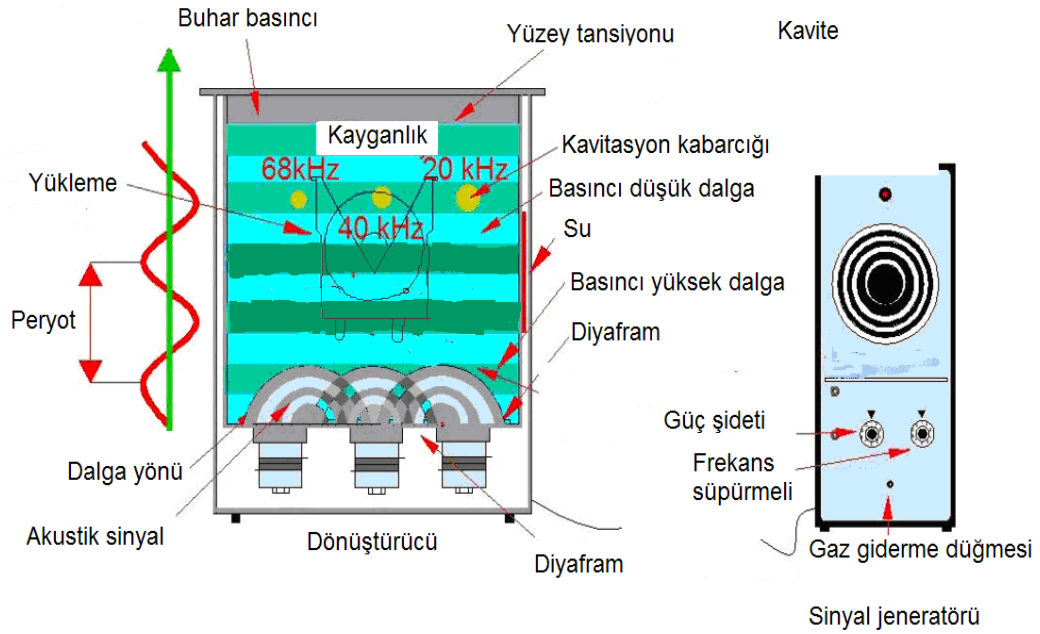
Şekil 2. 3: Ses dalgasının yayılımı [1]

Dalgalar bir baştan bir başa gittikten sonra tekrar geri dönerler. Ses dalgalarının gidip dönmesi esnasındaki yayların yer değiştirmesi olayında her bir bireysel yay aynı pozisyonda kalır. İlk anda sıkıştırılmış bölümün parçası olan yay komşu yayların itilmesi olayı devam ederken sıkıştırılmış kısım onu bıraktığı için yoğunluğu az kısmın parçası oluverir. Bu tıpkı sesin iletildiği ortamın moleküllerinin sıkıştırılması daha sonra da bırakılması ile aynıdır. Şekil 2.3' te sıkıştırılmanın olduğu yerdeki basınç pozitif, rahatlatılmış bölgenin basıncı ise negatif olarak gösterilmiştir [1].

BÖLÜM 3. ULTRASONİK TEMİZLEME

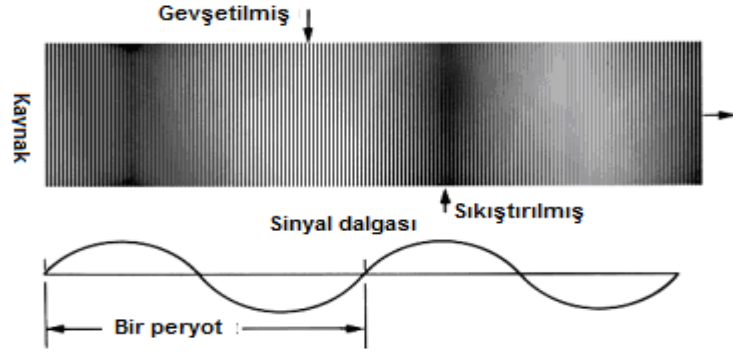
3.1 Ultrasonik Temizlemenin Temel Prensibi

Basit olarak bir ultrasonik temizleme sistemi Şekil 3.1’ de görüldüğü gibi paslanmaz çelikten oluşan metal bir tank ve bu tankın tabanına veya yanına yapışık piezo seramik dönüştürücüler, ultrasonik üreteç (ultrasonic generator) ve temizleme sıvısından oluşur.



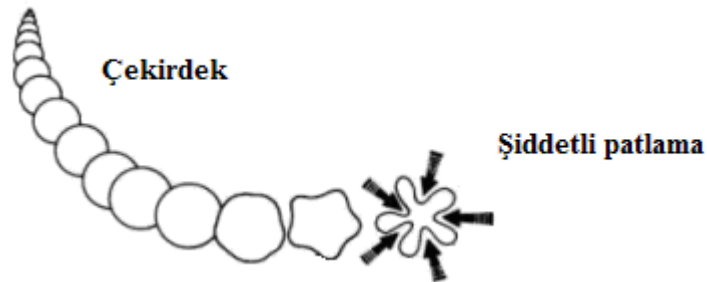
Şekil 3. 1: Bir ultrasonik temizleme sistemi düzeneği [13]

Dönüştürücü bir elektrik sinyali ile uyarıldığında zaman aniden şeklini değiştirebilme özelliğine sahiptir. Ultrasonik sinyal jeneratörleri yüksek frekanslı sinyalleri (20-400 kHz) üretirler ve temizleme tankı tabanına yapıştırılmış dönüştürücüler (transducers) de üzerlerine uygulanan bu sinyallerle temizleme tankı içindeki sıvıda basıncı artırılmış ve azaltılmış ultrasonik dalgalar meydana getirir. Şekil 3.2’ de bu dalgalar görülmektedir [12].

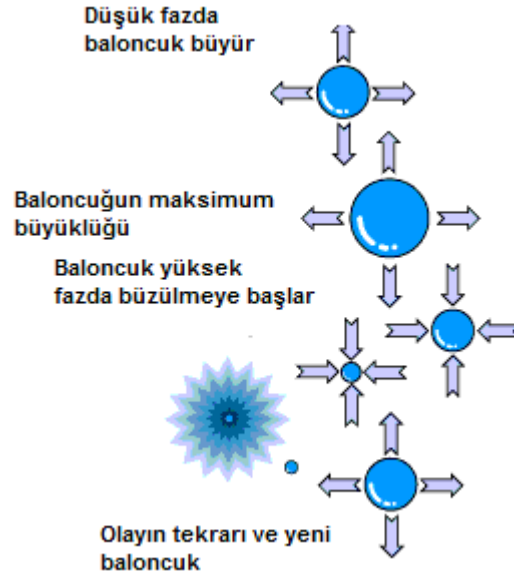


Şekil 3.2: Basıncı artırılmış ve basıncı azaltılmış dalgaların ultrasonik frekans etkisiyle oluşumu

Sıvı yüksek basınçlı fazında sıkıştırılmış olur, alçak basınç dalga fazında ise aniden bırakılır. Sıvıdaki basınç azalırken mikroskobik çekirdeklerdeki boşluklar genişler ve sıvı içinde ayrışmalar olur. Ardından gelecek yüksek basınçta ise bu boşluklar (kavite) daraltılır, daha sonraki alçak basınçta boşluk büyümeye devam eder. Süreç bu şekilde devam ederken boşluk öyle kritik bir büyüklüğe ulaşır ki daha fazla büyüklüğünü koruyamaz ve basıncı artırılmış faz esnasında çok güçlü bir şekilde patlar. Bu güçlü patlama esnasında noktasal ama çok yüksek bir sıcaklık etkisi ve her yöne yayılan şok dalgalar meydana gelir [13,14]. Şok dalgaların etkisi ile jet hızındaki plazmalar sıvı içinde nerelerde nesne varsa çarpar ki kir, pas, kireç ve yağ ne varsa temizler. Aslında tek bir kavitasyon kabarcığının bıraktığı enerji çok fazla değildir, fakat tankın içinde bu kabarcıklardan her saniyede milyonlarcası meydana gelir ve patlar, böylece ultrasonik temizlik için gerekli enerji sağlanmış olur. Bu şekilde ultrasonik temizleme işlemi gerçekleşmiş olur. Özellikle erişilmesi zor olan bölgelerdeki kir ve pası hızlı bir şekilde tamamı ile temizleyebilme özelliğinden dolayı ultrasonik temizleme makineleri yıllardır endüstride ve laboratuvarlarda kullanılmaktadır [2,4,9,15,16,]. Şekil 3.3 ve Şekil 3.4’ te kavitasyon baloncuklarının patlaması aşamaları gösterilmiştir.



Şekil 3.3: Bir kavitasyon kabarcığının patlaması [12]



Şekil 3. 4: Sıvı içinde kavitasyon sonucu meydana gelen patlama [1]

Literatürde kavitasyon denilen bu olayda kabarcıktan yayılan enerji mikroskobik bölgelere, atomik yüzeylere dağıldığından temizlenecek parçalar için güvenlidir. Kavitasyon sırasında sıvı içinde oluşan kabarcıkların ne kadar büyüyeceği kullanılan dönüştürücüye, uygulanan sinyalin genliği ve frekansına bağlıdır. Kavitasyon yalnızca sıvı içindeki yerel basıncın sıvının buhar basıncından daha düşük bir değere azaltıldığı zaman meydana gelir [14]. Dönüştürücü tarafından meydana getirilen ultrasonik dalgaların gücünün bu şartı yerine getirecek büyüklükte olması gerekir. Kavitasyonu başlatmak için gerekli minimum güç her sıvıya göre değişiklik gösteren bir kavitasyon eşik parametresine sahiptir. Aynı zamanda ultrasonik temizlemenin gerçekleşebilmesi için de bu eşik değerin çok üzerinde bir güç uygulanmalıdır. Eşik değerinin üzerindeki ultrasonik enerji miktarı kavitasyon kabarcıklarının oluşumunu ve ultrasonik temizlemeyi gerçekleştirecek olan kısımdır. Uygulanan enerjinin de belli bir üst limiti vardır. Kavitasyon erozyonu olarak bilinen olumsuz etki oluşana kadar temizleme gücü artırılabilir. Güç daha da yükseltirirse ultrasonik yayılım etkisi azalarak temizleme verimliliği düşer [4]. Bir kez kavitasyon olayı başladıktan sonra güç seviyesi eşik değerinden daha aşağı seviyelere indirilse de kavitasyon işlemi devam eder. Ultrasonik temizlik için dikkate alınacak aralık bu iki nokta arasındır. Yani üst sınır olan kavitasyon erozyonunun başlamasına sebep olacak güç değeri ile kavitasyon olayını sürdürmeye yeterli olan minimum güç değeri aralığıdır [14].

3.2 Ultrasonik Temizleme Sistemini Oluşturan Parçalar

Bütün ultrasonik temizleme sistemleri 4 temel parçadan oluşmuştur. Bunlar dönüştürücüler, ultrasonik üreteç, temizleme tankı ve tankın içindeki temizleme sıvısıdır. Sistemin performansı ve güvenilirliği dönüştürücü ve üreteçlerin tasarım ve yerleştirilmesine, temizliğin etkili bir şekilde gerçekleşmesi ise temizleme sıvısına bağlıdır. Temizleme tankının büyüklüğünü ise temizlenecek parçanın büyüklüğü belirler. Kullanılacak üretecin gücü ve dönüştürücülerin sayısı tankın büyüklüğü ile ilgilidir. Tank büyüdükçe dönüştürücülerin sayısı artar. Çözeltinin nasıl olacağı kararını ise temizlenecek parça ve temizlenecek kirin türü belirler.

3.2.1 Dönüştürücüler (Transducers)

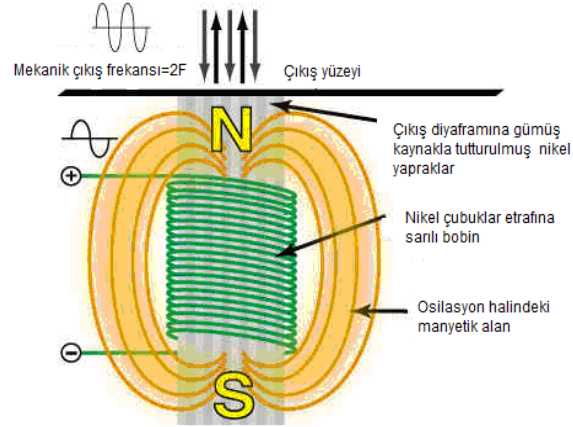
Dönüştürücüler herhangi bir ultrasonik temizleme sisteminin kalbidirler. Çünkü ultrasonik sinyal jeneratöründen gelen ultrasonik sinyalleri, sıvı içinde ultrasonik dalgalara dönüştürerek temizleme olayında belki de en önemli görevi üstlenen birimdir. Günümüzde kullanılan iki tip ultrasonik dönüştürücü vardır. Bunlar piezoelektrik ve elektromanyetik dönüştürücülerdir. Her ikisi de aynı işi yani alternatif elektrik enerjisini mekanik enerjiye ya da tersi olan mekanik enerjiyi alternatif elektrik enerjiye dönüştürme işini farklı yollarla yaparlar. Bu çalışmada piezoelektrik dönüştürücü kullanıldığından manyetik dönüştürücülerden kısaca bahsedildi.

3.2.1.1 Elektromanyetik (Magnetostrictive) dönüştürücüler

Elektromanyetik dönüştürücüler belirli metallerin değişken bir manyetik ortama konulduğunda sıkışması ve gevşemesi prensibini kullanarak elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştürürler [6]. Elektromanyetik dönüştürücü yapısı Şekil 3.5' te gösterilmiştir.

Ultrasonik jeneratörden gelen alternatif elektrik enerjisi bir bobine uygulandığında bobin etrafında değişken bir manyetik alan oluşturulmuş olur. Oluşan bu manyetik alan daha sonra inceltirilmiş tabaka halindeki nikel veya diğer manyetik malzemelerin ultrasonik frekanslarda titreşmesini sağlayarak mekanik enerjiye dönüştürmede kullanılır [7,17]. Bu metal parçalar da aynı zamanda titreşecek ince metal yüzeye

(diyafram) tutturulur. Elektromanyetik dönüştürücüler manyetik alanın her iki polaritesine de aynı tepkiyi verdikleri için alınan çıkış frekansı verilen ultrasonik sinyal frekansının iki katıdır. Bu tür dönüştürücüler ultrasonik temizleme gibi yüksek güç gerektiren uygulamalarda kullanılan sağlam kaynaklılar, fakat daha pahalıdırlar.



Şekil 3. 5: Elektromanyetik dönüştürücü yapısı [1]

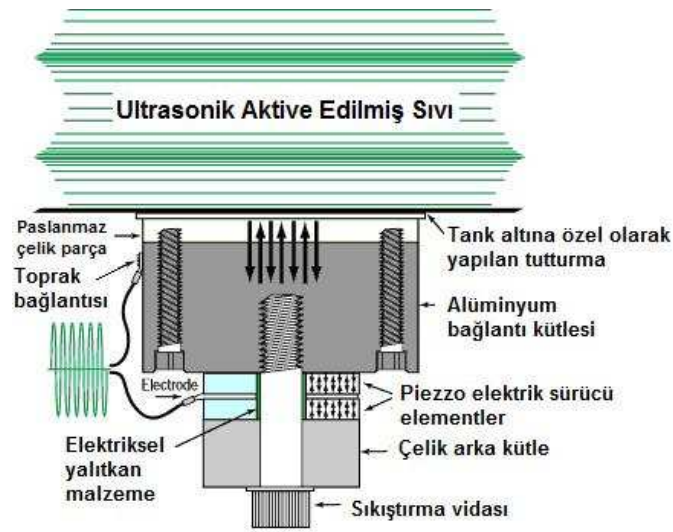
Elektromanyetik dönüştürücüler fiziksel, mekaniksel ve elektriksel açılardan belli sınırlamalara sahip olduğu için yüksek güçlü olanları 20 kHz' in üzerinde nadiren kullanılırlar. Oysa piezoelektrik dönüştürücüler kolayca megahertz seviyelerinde çalışabilirler.

Piezoelektrik dönüştürücüler diğerlerine göre daha verimlidirler. Çünkü Elektromanyetik dönüştürücüler önce elektrikten manyetiğe sonra da manyetikten mekaniğe olmak üzere çift enerji dönüşümü gerektirirler. Her bir dönüşüm esnasında birtakım kayıplar olur, örneğin manyetik histerezis gibi [1].

3.2.1.2 Piezoelektrik(Piezoelectric) dönüştürücüler

Piezoelektrik dönüştürücüler alternatif elektrik enerjisini direkt olarak mekanik enerjiye dönüştürürler. Bunu yaparken piezoelektrik özelliklerini kullanırlar [7,16,18]. Yani yapılarında bulunan belli bir materyale bir elektrik sinyali uygulandığında bu materyal şeklini değiştirir [5,17]. Bunun tersi de doğrudur. Dönüştürücüye fiziksel bir kuvvet uygulandığında dönüştürücü bu fiziksel kuvvetin büyüklüğü ile orantılı olarak bir gerilim üretir.

Bütün ultrasonik temizleme sistemleri birkaç durum dışında piezo seramik dönüştürücüleri kullanır. Şekil 3.6’ da piezo seramik dönüştürücü yapısı ve temizleme tankına bağlantısı gösterilmiştir. Dönüştürücünün fiziksel kütlesi ve şekli onun rezonans noktasını belirler. Çoğu dönüştürücüler birden fazla doğal rezonans noktasına sahiptir. 40 kHz’ lik bir dönüştürücü için ikinci rezonans noktası 68 kHz veya 170 kHz olacak şekilde imal edilebilir. Burada ikinci frekansta bir güç kaybı vardır fakat bu durumun temizlemeye etkisi azdır.



Şekil 3. 6: Piezo seramik bir dönüştürücünün iç yapısı ve temizleme tankına bağlanması [1]

Dönüştürücünün 1. rezonans frekansına geldiği zaman, dönüştürücü jeneratörün çıkış frekansı ile uyum içinde olan hızlı sıkışma ve genişleme hareketi sayesinde ultrasonik titreşimler yayar. Newton’un 2. durum yasasına göre $F=m.a$ olduğundan, kütlesi büyük ve ivmesi fazla olan dönüştürücüler kütlesi küçük ve ivmesi az olan dönüştürücülere göre daha fazla temizleme etkisi meydana getirirler.

Bir rezonans kütlesi hassas bir şekilde imal edilmiş çelik ya da paslanmaz metal bir bloktur ve dönüştürücü yapısı ile rezonansa gelecek şekilde bir geometriye sahiptir. Bunun tek amacı dönüştürücü düzeneğine bir ağırlık ilave etmektir. Çünkü 40 kHz’ lik dönüştürücü küçük boyutta ve hafiftir. 25 kHz’ lik bir dönüştürücünün rezonans kütlesi 40 kHz’ lik olanın yaklaşık 6 katıdır. O zaman neden oldukça büyük bir rezonans kütlesini herhangi bir dönüştürücü düzeneğine yerleştirmeyelim ki sorusu

akla gelebilir. Cevap rezonans kelimesinin içinde saklıdır. Bir metal nesne sadece kendi kütlesine ve geometrisine bağlı olan bir temel frekansta titreşebilir. Eğer seçilen rezonans kütlesi üzerine konacağı dönüştürücünün hem birinci hem ikinci rezonans frekansında rezonansa gelebilecek şekilde tasarlanmamışsa, dönüştürücünün hareketine zıt yönde kuvvet oluşturacağından verimliliğin düşmesine sebep olur. Birbirine zıt yönde dalgalar oluşur. Bu, neden jeneratörün çıkış frekansının dönüştürücünün 2. harmoniğinde bir frekans üretmesi dışında değiştirilmesinin iyi bir çalışma ile sonuçlanmayacağına diğer sebebidir. Eğer dönüştürücü frekansını değiştirirse artık rezonans kütlesi ile uyum halinde rezonansa gelemeyecektir. Bu nedenle frekansın değiştirilme veya tarama aralığı çok dar bir aralık olmak zorundadır. Ama 2. harmoniğine geliniyorsa sorun yoktur. Bu nedenle rezonans kütesinin tasarımında, ait olacağı dönüştürücünün çalışacağı frekans aralığı dikkate alınmak zorundadır [1,13].

Dönüştürücü kendini besleyen üreteç tarafından kendi doğal frekansında beslenirse dönüştürücü, jeneratörle harmoni içinde titreşir. Fakat jeneratörün çıkış frekansı dönüştürücünün çalışma frekansı ile çakışmıyorsa verimlilik ve güç kısa sürede düşer. Bu durum dönüştürücünün verilen aralıktaki çalışma frekansından kaydığı zamanda oluşur.

Newton'un 2. yasasının ikinci boyutu da ivme ile ilgilidir. Dönüştürücü daha fazla ivmeleniyorsa daha fazla kuvvet üretecektir. 170 kHz'lik sistemler 40 kHz'lik sistemlere göre saniyede yaklaşık 4 kat daha fazla titreşim üreteceğinden, daha fazla ivmelenecek, bunun sonucunda da daha fazla temizleme gücü üretecektir [4,13]. Şekil 3. 7. de çeşitli dönüştürücü resimleri gösterilmiştir.



Şekil 3. 7: Çeşitli Dönüştürücü Resimleri [13]

Dönüştürücünün titreşiminin en iyi şekilde tanka iletilebilmesi için dönüştürücü diyaframı yuvarlak olmalı ve tankın tabanına yerleştirilmelidir (bazı çalışmalarda tankın yan duvarlarına da değişik pozisyonlarda konulabilir). Bu durumda tankın içine enerjinin yayılımı daha etkili olur. Tankın şeklinin kare olması da yayılımın eşit bir şekilde dağılmasında etkilidir.

Piezo elektrik dönüştürücünün enerji transferi ayrı bir faktördür. Çünkü enerji tankın içindeki malzemeler tarafından absorbe edilir. Kavitasyonu devam ettirebilmek için tanka belli bir miktar enerji vermek gerekir. Eğer bu olmazsa tank hassas yüklemeli olacak (yani temizlemek için fazla elemanı tanka daldıramayacağız), kavitasyon sınırlanacak ve temizleme verimliliği düşecektir. Piezo elektrik dönüştürücülerin orta yerine empedans uyumu için alüminyum bir malzeme yerleştirilir (burada radyasyon diyaframına enerji transferi vardır), fakat kütlesi hala düşüktür. Bu düşük kütle tankın içine transfer edilen enerjiyi sınırlar (kinetik enerji= $m.v^2$). Piezo elektrik dönüştürücünün düşük kütlesi sebebi ile üreticiler tanklarında ince diyafram kullanmak zorundadırlar. Kalın tabaka kolay bükülemez ve rahat titreşemez dolayısı ile orada bir geri basınca sebep olur. Bunun sonucu da dışarıya düşük enerji aktarılabilir. İnce diyafram kullanmanın da bazı problemleri vardır. Belli frekansta sürülen diyafram üst harmonik frekanslarda da osilasyona gitmeye meyillidir, bu durum küçük patlamaların oluşumuna sebep olur. Diğer bir problem de ultrasonik temizleyicilerde çok yaygın olan kavitasyon erozyonudur. İnce yapıdaki tanklarda diyafram delinebilir, çözelti dönüştürücü ve kablolar ve elektronik devrelere bulaşabilir. Tamiri masraflı durumlar ortaya çıkabilir [13].

Piezo seramik düzenekler çeşitli sebeplerle zaman içinde deforme olabilirler. Mesela seramik kristal yapısındaki zaman içinde oluşan yapısal değişiklikler ile titreşme özelliğindeki zayıflama ve bunun sonucunda da kavitasyonda gözle görülen azalma meydana gelebilir. Ayrıca tanka monte edilme sırasında kullanılan özel yapıştırıcı maddenin sıcaklık ve yüksek frekanstaki titreşimler sebebiyle yapışkanlığını yitirmesi ve bunun sonucunda da dönüştürücünün enerjisini tank içine transfer edebilme özelliğinin zamanla kaybolması durumları ortaya çıkabilir. Kristal kapasitansının zamanla değişmesi sonucu rezonans frekans değerinden kayması da bu deformasyon sebeplerinden bazılarıdır.

3.2.1.3. Daldırmalı tip dönüştürücüler

Ayrıca daldırmalı tip olarak adlandırılan dönüştürücü düzenekleri de mevcuttur. Bunlar içi dışına döndürülmüş temizleme tankı yapısıymış gibi düşünülebilir. Genellikle 7,5-10 cm kalınlığında yüksekliği ve genişliği gerektirdiği kadar olan, su geçirmez bir kutunun içine yüzeyleri yukarı gelecek şekilde yerleştirilmiş dönüştürücülerden oluşan yapılardır. Su geçirmez bir koaksiyel kablo ile dönüştürücü üretece bağlanır. Dönüştürücü her hangi bir tanka yerleştirilebilir ve o tankı ultrasonik tanka dönüştürür. Bu bir avantajdır. Şekil 3.8. de değişik boyutta daldırmalı tip dönüştürücü fotoğrafları görülmektedir.



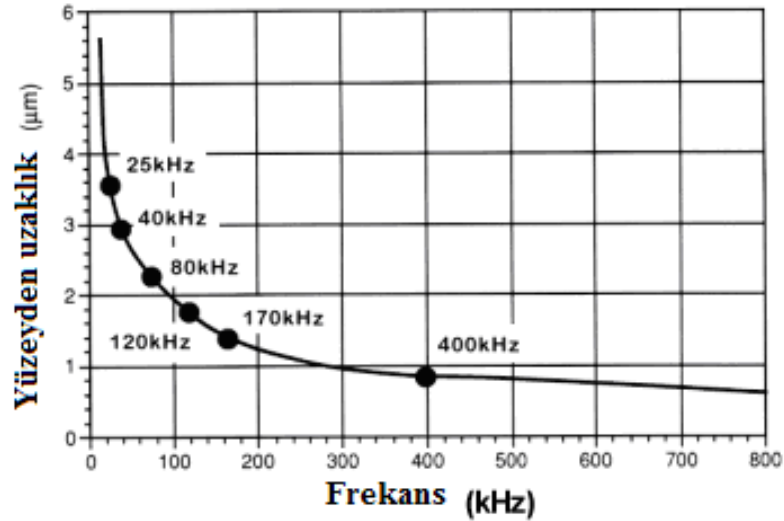
Şekil 3. 8: Daldırmalı tip dönüştürücü yapıları [13]

3.2.1.4. Yüksek ve düşük çalışma frekanslarının karşılaştırılması

Temizlenecek malzemenin cinsine ve temizlenecek kirin türüne göre değişik frekanslar ultrasonik temizlik işlerinde kullanılabilirler. 170 kHz' lik sistemler oldukça sessizdirler. İnsan kulağının duyma aralığından uzak olduğu için yan harmonikler üretilmez ve rahatsız edici bir durum olmaz. 170 kHz' lik temizleme sıvısının yüzeyi normal frekanslarda çalışan sıvı yüzeylerine göre çok farklı olur. Yüksek frekanslı sistemlerde dalgacıklar sıvı yüzeyinde bir baştan bir başa yayılırlar. Alçak frekanslı sistemlerde neredeyse hiç dalgacık görülmez. Şekil 3.9 bu durumu gösteren bir grafikdir.

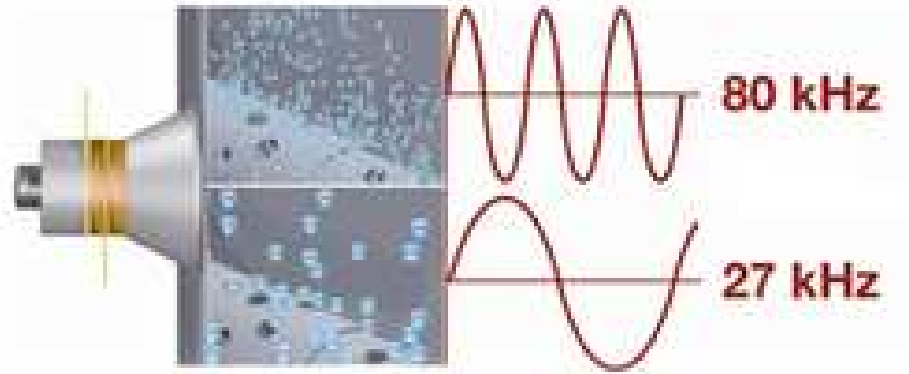
170 kHz lik sistemlere parmak daldırıldığında şiddetli bir temas değil yumuşak bir temas hissedilir böylece hassas metaller deformasyona uğramadan (cavitation erosion) bu sistemlerde kullanılabilir fakat alçak frekanslı sistemlerde temas sert olur ve deformasyon olayı gözlemlenebilir [9].

Düşük frekans aralığında yani insan kulağının duyabileceği frekans aralığında çalışılıyor ise gürültü problem olmaya başlar. Çalışma frekansı 20 kHz'in altına düşerse gürültü insan sağlığını tehdit eder hale gelir. Zor kir ve pasların temizlenmesinde yüksek güç kullanılması gerekiyorsa ve parçanın deforme olması önemli değilse 20-30 kHz arası düşük frekanslar kullanılır.

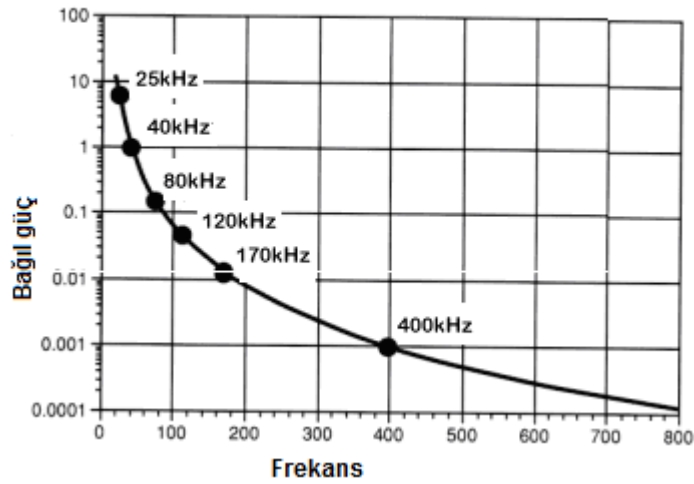


Şekil 3. 9: Ses dalgasının frekansa göre yüzeyden uzaklığı [14]

Yüksek frekanslar küçük ve hassas parçaların temizlenmesinde kullanılır. Frekans arttıkça kavite doğrusal olarak artar ve daha çok homojen bir yoğunluk elde edilir. Şekil 3.10. da bu durumu görmek mümkündür. Yüksek frekansta güç sabit tutulduğu zaman kavite baloncuklarının boyutları ve enerjileri azalır böylece temizlenen kir parçası çok küçük boyutlara iner ve temizlenen parçaya zarar verilmez [4]. Frekans arttıkça kavite başına düşen enerjinin azaldığı Şekil 3.11' deki grafikten anlaşılabılır. Böylece erişilmesi zor bölgelerdeki kirlerin temizlenmesine de imkan sağlanır. Yüksek frekanslarda küçük parçaların temizlenebilmesi olayı bir akarsudaki su seviyesinin düşürülerek küçük taşların görülebilmesi olayına benzetilebilir [14].



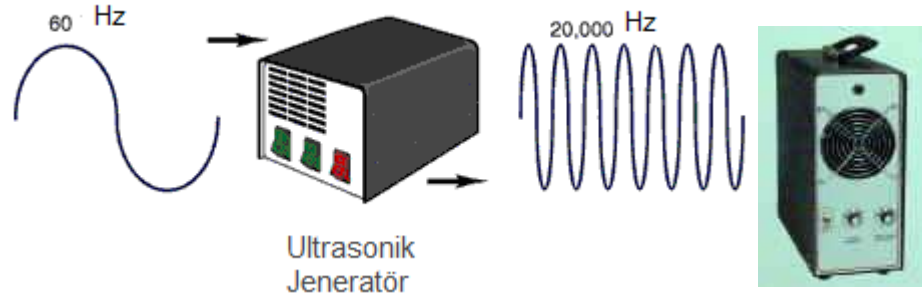
Şekil 3.10: Farklı frekanslarda kavitasyon kabarcık boyutları [11]



Şekil 3.11: Değişen frekanslara karşılık gelen bağıl güçler [14]

3.2.2. Ultrasonik jeneratörler

Dönüştürücüye enerjiyi ultrasonik jeneratör verir. Ultrasonik jeneratör güç kaynağından aldığı enerjiyi(şehir şebekesi gibi) istenilen frekansa dönüştürerek yüksek voltajda bir elektronik sinyali elde eder ve bunu dönüştürücüye gönderir (Bknz. Şekil 3.12). Dönüştürücü bu sinyali aldığı anda şeklini değiştirerek cevap verir ve bu durum sinyal uygulandığı müddetçe devam eder. Dönüştürücünün cevap verme frekans aralığı dar olduğundan jeneratör sinyali bu aralığın içinde bir frekansta sinyal üretmek zorundadır [13].



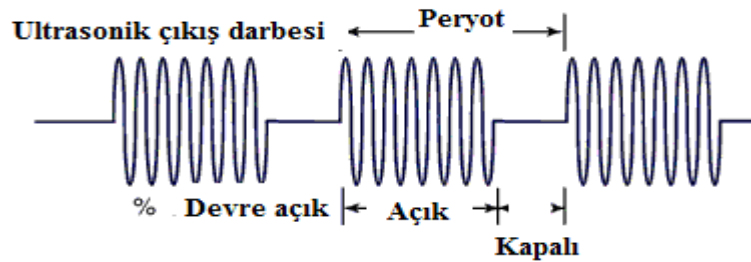
Şekil 3.12: Ultrasonik jeneratörle düşük frekanslı sinyalden yüksek frekanslı sinyal elde etme [1]

Üreteçler dönüştürücülere uygun olarak belli güçlerde imal edilirler. Dönüştürücüler çalışabilmek için en az dönüştürücünün maksimum çalışma voltajının $\frac{3}{4}$ üne ihtiyaç duyarlar. Örneğin 400 V maksimum çalışma gerilimi ise 300 V altındaki gerilimlerde yeterince titreşim yapamaz [13].

Tipik bir üreteç genellikle dönüştürücünün gücünü kontrol edebilir (Power Intensity) ve dönüştürücünün çalışma frekans aralığı dikkate alınarak frekans süpürmeli olarak yapılandırılabilir (Sweep Frequency rate control).

3.2.2.1. Darbe kontrollü jeneratörler

Üreteç otomatik olarak çok hızlı bir şekilde açılıp kapatılır, bu durum temizleme sıvısının içindeki gazların giderilmesinde (degas) etkili olabilir. Şekil 3.13. de görüldüğü gibi ultrasonik darbeler belli bir zaman devreye uygulanırken, belli zamanlarda da uygulanmaz. Bu zamanlama kontrolü mikrodenetleyici veya PLC kullanılarak yapılabilir. Çözeltinin cinsine göre bu süreler değişik olabilir ve verimli bir temizleme işlemi olması için bu bekleme süresi optimize edilmelidir.

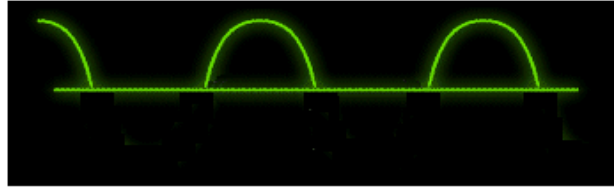


Şekil 3.13: Darbe kontrollü ultrasonik üreteç çıkışı

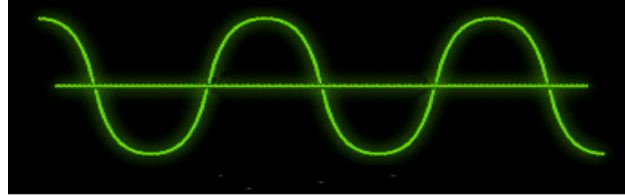
3.2.2.2 Tam dalga/yarım dalga ve darbe kontrolleri

Bazı üreteçte anahtarlama vardır ve bunlar dönüştürücüye giden dalgaları keserek Şekil 3.14. de görüldüğü gibi yarım dalga halinde gönderir. Bu, gazın çözelti içinden çok daha hızlıca çıkmasına (degas) izin veren başka bir yöntemdir. Degas kontrollü ya da degas kontrolsüz bir tank kendi üzerinde yaklaşık 20 dakika içerisinde kendiliğinden degas olayını gerçekleştirecektir.

Çoğu üreteçler belli dönüştürücüleri çalıştırabilecek belli modüllerde imal edilir. Bunlar çoğunlukla 250, 500, 750 ve 1000 Watt büyüklüğündedir. Sisteme dönüştürücü yığınlarının büyüklüğüne göre jeneratör modülleri eklenerek sistem çalıştırılabilir [13].



1/2 Dalga



Tam dalga

Şekil 3.14: Tam dalga ve yarım dalga darbe kontrolleri [13]

3.2.3 Ultrasonik temizleme tankları

Ultrasonik tanklar genellikle dikdörtgen şeklinde olurlar ve herhangi bir büyüklükte, paslanmaz çelikten imal edilirler. Mümkün olduğunca ince ama aynı zamanda da istenen dayanıklılığı sağlayabilecek kalınlıktaki bir paslanmaz çelik malzemeden imal edilmelidirler. Endüstride kullanılan büyük hacimli tanklarda tank malzeme kalınlığı nispeten daha fazladır. Çünkü çözelti ve temizlenecek parçaların ağırlığını tartabilecek dayanıklılıkta olmalıdır.

Temizleme tankları üç kategoride incelenebilir. Bunlar:

Küçük bir oyuncak gibi görünen tiplerdir. Bunlarda küçük dönüştürücüler kullanılmıştır ve oldukça basit yapıya sahip jeneratörlerle birlikte hafif işlerde kullanılırlar, örneğin kontak lenslerin temizliğinde.

- 1) Diş hekimliği malzemelerinin temizliğinde kullanılan masa üstü küçük temizleyicilerdir. Bunların daha büyük dönüştürücüleri ve daha kaliteli jeneratörleri vardır. Küçük parçaların ve laboratuardaki camdan yapılmış deney aletlerinin temizlenmesinde kullanılır. Uzun bir zaman periyodu içinde kullanılabilirler. Bunların çoğunun jeneratörleri kendi içlerindedir. Burada bir dezavantaj vardır. Eğer sistem iyice ısındı ise veya ısıtıcı tarafından oluşturulan fazla ısı sebebiyle aynı ortamda bulunan elektronik donanım bundan etkilenir ve jeneratörün erken yıpranmasına sebep olur. Bunlar 7 gün 24 saat çalıştırmak için değildir dolayısı ile üretimde kullanılan temizlik işlerinde kullanılmamalıdır.
- 3) Büyük ebatlarda dönüştürücüleri ve dönüştürücü başına daha güçlü enerji verebilecek kapasitede büyük jeneratörleri vardır ve sanayide ağır işlerde kullanılırlar. Jeneratörler tanktan ayrı bir yerde konumlandırılırlar. Bunlar daha verimli temizleme yapabilirler ve üretim amaçlı temizlik işlerinde kullanılabilirler. İçine sıvı doldurulup boşaltılabilir ve malzemesinde 316L paslanmaz çelik kullanılır. Bir temizleme tankı ve jeneratörüne ait fotoğraf Şekil 3.15.de verilmiştir.



Şekil 3.15: Örnek bir temizleme tankı ve jeneratörü [13]

3.2.3.1. Ultrasonik temizleme tanklarının yapısı

En genel olanları masaüstü için kullanılan ve tek parçadan imal edilmiş olanlarıdır. Tek parçadan oldukları için damlatma gibi bir durum söz konusu değildir. İçindeki sıvıyı boşaltma sistemi eklenebilir. Boyutları 13cmx13cmx10cm (5" x 5" x 4") ile 50cmx28cmx20cm(20" x 11" x 8") arasında olabilir. Tek dezavantajı derinlikte belli bir sınırın üzerine çıkılamamasıdır.

İkinci tip tanklar daha ağır paslanmaz çelik olan 304L veya 316L den ve levhaların çok iyi bir şekilde birbirlerine kaynak yapılması ile imal edilirler. İstenilen büyüklükte yapılabilir ve sıvı boşaltma sistemine sahiptirler. Daha çok endüstride kullanılırlar. Ultra temizlik işleri için 316L çelikten ve levhaların birleştirilmesi ile elde edilirler. Fakat levhalar kavisli bir şekilde birleştirildiğinden koparılan kirlerin alıkonması en aza indirilmiştir. Asit deformelerine karşı korumalı yapılmıştır. Sıvı boşaltma sistemleri mevcuttur ve bunlar en pahalı tank tipleridir [13].

Kazanın yapıldığı malzeme ki bu kazanın parçalı olup olmayacağını da belirler, ultrasonik tankın performansı üzerinde etkilidir. Bir kazan imal edilirken tankın yüklenmesi, şekli ve diyafram kalınlığı önemlidir, çünkü bunlar ses sistemini etkiler. İmal edilen tankların hangisinin daha iyi olduğunu tespit edebilmek için yöntemler geliştirilmiştir (folyo testi ve L-2001 ultrasonik prop gibi).

3.2.3.2. Temizleme tankının büyüklüğü ve yüklenmesi

Temizlenecek alanın hepsi temizlenebilmeli, temizlenecek alan cm^2 olarak ölçüldüğünde bu, cm^3 olarak ölçülen değer olan tankın hacminden büyük olmamalıdır [13]. Tankın büyüklüğü öyle olmalı ki sepet yüklendiği zaman sepet sıvı yüzeyinden en az 4cm aşağıda, tabandan 5 cm de yukarıda olmalıdır. Parçalar asla tankın dibine konulmamalıdır. Bu durum başparmağın hoparlörün titreşen diyaframı üzerine konulmasına benzer. Bu pozisyonla diyaframın (tankın kenarı ya da tabanı) doğru hareketi engellenir ve ultrasonik enerjinin oluşumu ile ters düşülür [13].

Temizlenecek parçalar bir sepet içerisine dizilmelidir. Bu sepet paslanmaz çelikten olmalıdır. Plastik gibi yumuşak malzemeler enerjiyi absorbe eder. Eğer parça çok kolay çizilebilen veya hasara uğrayabilecek yapıda ise o zaman teflon gibi malzemelerden kaplamalı sepetler veya parça dizme düzenekleri kullanılmalıdır.

Yerleştirme işlemi tek bir katman halinde olmalıdır. Bu, temizleyici sıvının daha kolay sirkülasyon yapmasına ve enerjinin kirli bölgeye hemen ulaşmasına sebep olur. Parçaları tanktaki sıvıdan çıkarırken de tek katman yerleştirmenin avantajları vardır.

3.2.3.3 Bir ultrasonik tanktaki güç seviyesini ölçmek ve doğru güç seviyesini belirlemek

Bir ultrasonik tanktaki güç seviyesi genellikle Watt ile gösterilir. Örneğin bir ultrasonik jeneratör tarafından üretilen 500 watt lık ortalama gücü ele alırsak bu sistemde 500 watt lık temizleme gücü olduğu anlamına gelmez. Her sistemde olduğu gibi burada az da olsa güç kaybı vardır. Bunlar:

- 1) Dönüştürücüde hızlı hareketin sebep olduğu sürtünmenin meydana getirdiği ısınma
- 2) Gerekli enerji içinden bir kısmının tankın içine nüfuz etmesi ve tankın dibine doğru hareket etmesi
- 3) Temizlenecek parçalarda ve sepette bir kısım enerjinin absorbe edilmesi
- 4) Ultrasonik enerjinin sıvıyı ısıtmasıdır.

Bütün bu kayıplar sistemin yapısına bağlı olarak 10-20 watt civarındadır. Güç kaybı sıcaklıktan, temizleme sıvısının yoğunluğundan ve kimyasal katkılardan da etkilenir. Ultrasonik tankta güvenilir bir şekilde lokal bölgelerde elektriksel sinyal okunarak tankın farklı bölgelerindeki kavitasyonun şiddeti kıyasla belirlenebilir. Jeneratörden gelen ultrasonik sinyal dönüştürücü sayesinde(titreşerek) mekanik enerjiye dönüşür, dönüştürücü de bunu diyaframa ileterek diyaframın titreşmesini sağlar. Bu titreşimle suda oluşan basınçlı dalgalar tekrar sensör prob tarafından ölçülerek tekrar elektrik sinyaline dönüştürülür. Aslında burada okunan sadece bir elektrik sinyalidir güç değildir buda bize sadece bir fikir verir. Hiçbir zaman iki ultrasonik tank aynı güç miktarını oluşturmaz, çünkü dönüştürücülerin, jeneratörlerin ve tankların yapısında az da olsa bir fark vardır. İyi bir güç ölçer düzeneğinin, tank içinde oluşturulan frekansı ve harmonik frekansları, ve dalga şeklinin osiloskop görüntüsünü göstermesi gerekir. Gerçek RMS gücü, enerji seviyelerinin tepeden tepeye güç değerini gösterebilmelidir. Ayrıca sistem bütün bu parametreleri kaydedebilmeli ve istenildiğinde sonraki bir zamanda geri çağrılıp karşılaşıma amaçlı kullanılabilmelidir. Prob tankın içindeki parçaların içine girecek kadar küçük olmalıdır ki parçaların ve sepetin etrafındaki güç okunabilsin. Eğer bütün bu bilgilerin bilinmesi çok da önemli değilse sadece RMS gücü ölçen sistemler de vardır. Bunlar tankın içindeki herhangi bir bölgenin gücünü gösterebilirler.

Ultrasonik sistemlerin litre başına ortalama güç değeri 13–26 watt arasında olmalıdır. Bu ortalama bir orandır ve temizlemenin uygulama alanına göre ayarlanabilir. Gerekli gücü hesaplamak için şu formül kullanılır [13]:

$$Ortalama güç = \left(\frac{\text{Uzunluk (cm)} \times \text{Yükseklik (cm)} - 5\text{cm}}{392} \right) \times 26 \text{ Watt}$$

Ultrasonikle uğraşan şirketler ultrasonik enerji gücünü iki yolla hesaplarlar. Bunlar tepe (peak) ve ortalama değerleridir. Tepe gücü operasyona başlamak için gerekli enerjiyi sağlar. Ortalama güç ise operasyonu devam ettiren güçtür. Bütün temel hesaplamalar ortalama güç üzerindendir. Çoğu şirketler bir seçenek olarak güç yoğunluğu kontrolü sunarlar. Bu kontrol ultrasonik gücü azaltarak güç eğrisi üzerinde gücü istenen bir düzeyde sabit tutmaya çalışır. Enerji %50'nin altındaysa dönüştürücüyü aktive edebilecek yeterli enerji olmaz; örneğin 100 wattlık ultrasonik bir tankta(kastedilen yaklaşık 4 litre başına güç) güç 50 wattla 100 watt arasında ayarlanabilir [13]. Eğer hassas parçalar temizleniyorsa kavite erezyonu engellenmesi açısından, veya ultrasonik kaplama işinde kullanılırsa ya da diğer kimyasal uygulamalarda güç kontrolü önemli bir seçenektir.

3.2.4. Ultrasonik temizlemede kullanılan çözeltiler

Modern ultrasonik çözeltiler çeşitli deterjanlardan, sıvı yüzey gerilimini azaltan ve diğer aktiviteyi artırıcı maddelerden oluşmuştur. Çeşitli formüllerden oluşan çözeltiler, özel uygulamalar için uygulanabilirler. Uygun seçim, kabul edilebilir temizlik ve bu seçimden ötürü temizlenen parça ile geri dönüşü olmayan ve istenmeyen reaksiyona girmek açısından çok önemli bir konudur.

Çözeltinin amacı pislik ile parça arasındaki bağı koparmaktır. Suyun tek başına temizleme özelliği yoktur. Ultrasonik aktivitenin(cavitation) birinci amacı çözeltiliye bu işi yapmakta yardımcı olmaktır. Bir ultrasonik çözelti içinde temizleme işlemini optimize etmek için çeşitli maddeler vardır. Mesela, sıvı yüzey gerilimini düşürmek kavite seviyesini artırır. Ultrasonik çözelti sıvı yüzey gerilimini düşürücü maddeler içerir.

3.2.4.1. Temizleme işleminde iyonizeden arındırılmış su kullanımı

İyonizeden arındırılmış su; suyun içinde bulunan pek çok mineral ve çözülmüş iyonlardan suyun temizlenmesidir. Yani saf sudur. Suyun temizlik derecesi suyun direnci ile orantılıdır (Saf su elektriği geçirmez, saf suyun direnci mega ohm lar mertebesinde).

Musluk suyu 22°C' ye getirilir ve 5 mikronluk bir filtre tarafından içindeki parçacıklardan arındırılır ve sonra bir karbon filtre tarafından da içindeki tüm organik maddeler temizlenir. Tersine geçiren bir filtre daha küçük boyuttaki pislikleri ve çam sakızı karışıklı bir filtre de bütün çözülmüş mineralleri temizler. Bu az miktarlarda arındırılmış su elde edilmesinde çok temel bir yöntemdir. Büyük hacimli sistemler çok karışıktır ve pompa ve geri sirkülasyon döngüsü kullanılarak büyük değerlerde arıtılmış su elde edilir.

Arıtılmış su yüksek kaliteli temizlik için aşağıdaki sebeplerden dolayı önemlidir [13]:

- İçindeki minerallerin tamamı ya da çoğu giderildiği için temizlenecek parçadaki mineralleri içine almaya hazırdır (çoğunlukla parçanın yüzeyindeki pisliklerden arındırmak amaçlı).
- Öyle aktif bir temizleyicidir ki deterjanlı ya da deterjansız ultrasonik temizlik için mükemmeldir.
- Arıtılmış su parçanın üzerinde hiçbir artık bırakmaz, böylece parça kuruduktan sonra üzerinde leke olmaz.
- Deterjanla karıştırılırsa kesinlikle iyi bir temizleme sonucu verir.
- Durulama fazında parça üzerinde kalmış deterjan ve sabun artıklarını yok eder.
- Deterjan ya da diğer temizlik maddeleri arıtılmış su ile daha iyi bir çözelti oluşturur. Temizleme kalitesi artar ve deterjan ziyan olmadan maksimum verimlilikle kullanılır. Bu nedenlerden dolayı ultrasonik temizlemede ve durulamada mümkün olduğunca saf su kullanılmalıdır.

3.2.4.2. Temizlemede kimyasal kullanımının önemi

Ultrasonik tank içinde tek etkili değişken çözeltilerdir. Bazı sıvılar oda sıcaklığında iyi çalıştığı halde bazıları 60-70 °C derecede iyi iş görür. Bazı sıvılarda çözeltinin içinde ultrasonik enerjiyi etkin bir şekilde transfer edilebilmesi için temizlik maddelerine ihtiyaç duyulur. Su ile temizlikte, çoğu zaman temizleme malzemesine ihtiyaç duyulur ve daha iyi sonuç verebilmesi için sıcaklığının da yüksek olması gerekir. Deterjanın seçimi temizlenecek olan kire bağlıdır. Bu herhangi bir ultrasonik temizleme işleminde yapılacak önemli seçimlerden biridir.

Ayrıca efektif bir temizleme için kullanılan sıvının düzenli olarak devam eden bir arındırma (filtreleme) işlemine tabi tutulmasında fayda vardır. Her dakikada bir tankın hacminin %50 sinin filtreden geçirilmesi tavsiye edilir. Çünkü optimum performans filtre edilmeyen sıvı bölümlerinde çok nadiren gerçekleşir. Filtre edilen sıvı, uygun bir şekilde tankın içine aktarıldığı zaman çok az ya da hiç kavitasyon kaybı olmayacaktır. Aslında homojen bir temizlik için böyle bir sistem kullanmak gerekir. Aksi takdirde yayınlan enerji sıvı içersinde her bölgeye eşit aktarılmış olsa bile, durgun halde iken sıvıdaki bazı bölgelerin çok kirli bazı bölgelerin temiz olması durumunda kavitasyon gerçekleşme oranı farklılık gösterecektir.

3.2.4.3. Sulu temizleme çözeltisi

Sulu çözeltiler suyun yüzey tansiyonunu düşürmek ve temizlenecek olan kire kimyasal reaksiyon sağlamak için oluşturulmuştur. Sulu temizleyicinin içindeki kimyasallar çeşitli olabilir. Bunlar sabundan, sıvının yüzey gerilimini azaltan maddeye, aside ya da alkaline ya da yukarıdakilerin birleşimi şeklinde çok çeşitli olabilir. Çözelti, yapılacak uygulamaya göre iyonik ya da iyonik olmayabilir.

3.2.4.4. Ultrasonik temizlemede yanıcı çözücülerin kullanımı

Kolayca yanabilen ya da düşük parlama noktasına sahip maddeler asla tercih edilmemelidir. Kavitasyondan sonra ortaya çıkan enerji ısı ve kinetik enerjisine dönüştürülür. Bu, çözeltinin içinde yükselen ısıya ve bu ısı da yanabilen sıvılarla tehlikeli çözeltiler oluşturmaya sebep olabilir. Genellikle asit, çamaşır suyu ve çamaşır suyu ürünleri kullanılması yasaklanmıştır fakat belki dolaylı temizlemelerde

mesela cam kap kullanılarak uygun dolaylı temizleme tanklarında kullanılabilir. Asit ve çamaşır suyu paslanmaz elik tanklara zarar verebilir ve tehlikeli şartlar oluşturabilir. Buna rağmen yanıcı çözücüler bazı özel amaçlar için gereklidir. Bu tür çözeltelerde kullanılan tankların yapısı ve dönüştürücünün üzerlerine monte şekli özeldir. Sistemde elektriksel bir kıvılcım ihtimali minimuma indirilecek şekilde her türlü önlem tankın ve sistemin tasarımı sırasında göz önüne alınmalıdır. Çoğu yanıcı çözücüler çok düşük yoğunlukta olduklarından, ultrasonik enerjiyle tetiklendiklerinde sıvı yüzeyinde hava ile de temas halinde oldukları için patlama meydana gelme ihtimali yüksektir. Bu nedenle tanklar paslanmaz çelikten yapılmış muhafazalı bir yapı içine monte edilmelidir. Jeneratörleri de şekil 3.16. da görüldüğü gibi ayrı bir yerde olmalıdır. Bu sistemler fiyat olarak yanıcı çözücü kullanmayan sulu sistemlere oranla 5-10 kat daha pahalıdır. Eğitilmiş personel tarafından talimatlara kesinlikle uyularak kullanılmalıdır.



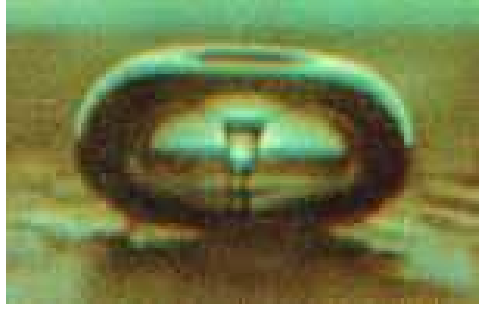
şekil 3.16: Yanıcı özelti kullanılan bir temizleme sistemi düzeneği [13]

3.2.4.5 Ultrasonik temizlemede filtreleme işlemi

Deterjan kullanılarak yapılan ultrasonik temizleme işleminde parça temizleme sonrası ayrışan kirler parça yüzeyinde yapışık veya çözelti içinde asılı kalırlar. Çok fazla miktarda ve kaliteli temizlik isteniyorsa ultrasonik temizleme tanklarında filtreleme ve ilave tanklar kullanımı önerilir. Temizleme çözücülerini ve deterjan kullanımı ayrıca tavsiye edilir. Çözücü kullanımını da çok fazla abartmamalı çünkü fazla kullanım temizlenecek parça üzerinde temizlemesi orijinalinden daha zor olan kir katmanı oluşturur. Seri üretim sırasında temizleme gerektiren uygulamalarda işleyen seri üretim sürecinin durmaması için filtreleme işleminin önemi daha büyüktür.

3.3. Kavite Erozyonu (Cavitation Erosion)

Temizlenecek parçayı uzun süre tankın içinde temizlemeye terk ettiğimizde kavitasyon erozyonu (cavitation erosion) dediğimiz olay meydana gelir [12,19]. Kavitasyon kabarcığı patladığı zaman etrafa 5000 C° ısı yayar ve saatte 500 mil giden şok dalgalar oluşturur [12]. İşte bu şok dalgalar temizlenecek parça üzerinde kavitasyon erozyonuna sebep olurlar. Düşük frekanslarda (20 kHz) uzun yıllar kullanımın sonucunda tankın tabanı da aşınır. Eğer temizlenen parçanın yüzü yumuşaksa aşınma etkisi burada da görülür. Bu olay düşük frekanslarda daha etkili olmakla birlikte yüksek frekanslarda da kavitasyon erozyonu gerçekleşebilir. Fakat bu diğerine kıyasla daha uzun temizleme zamanı sonucunda görülür. Şekil 3.17. de bir kavitasyon kabarcığı gözükmektedir [5, 20].



Şekil 3.17: Kavitasyon kabarcığı

Bir ultrasonik sistemin gücü ve frekansı temizlenecek parçanın seviyesine ayarlanarak parça hasardan korunabilir. Yüksek frekanslarda güç daha düzgün yayılır ve bu da parçanın daha iyi temizlenmesine sebep olur. Ayrıca yüksek frekanslar daha küçük kavitasyon kabarcıkları oluşturarak daha ince parçaların temizlenmesine olanak sağlar.

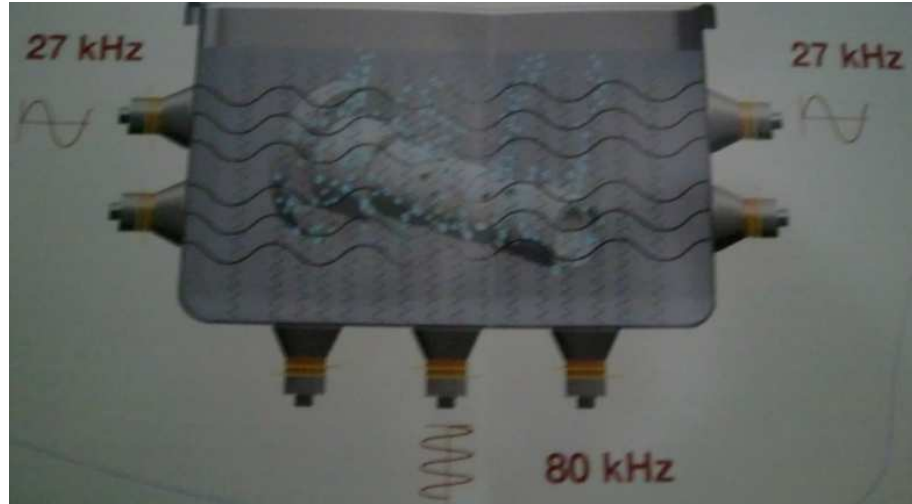
3.4. Multi Frekans Özellikli Ultrasonik Temizleme Sistemleri

Bunlar temel olarak 3 çeşittir:

- Tanka yapılandırılmış birbirinden bağımsız iki veya daha fazla dönüştürücü setleridir. Her bir dönüştürücü seti kendi jeneratörleri tarafından kontrol edilir ve frekans jeneratörler tarafından belirlenir. Frekans, hangi dönüştürücü setinin ne kadar zaman işlemde kalacağına göre değişir. Bir tanka 40 kHz ve 68 kHz lik dönüştürücüler monte edilmişse bu dönüştürücüler birbirinden bağımsız olarak

ya da 40ve 68 kHz eşzamanlı olarak çalışabilirler. Bu durumda sistem ya elle kontrol edilir veya programlanabilen lojik kontrolle otomatik olarak kontrol edilir. Böyle bir sistemin sınırları, tankın fiziksel yapısından kaynaklı olabilir. Örneğin fazla sayıda dönüştürücüler için yeterli alan olmayabilir. Bir diğer dezavantaj da iki frekansın aynı anda sürülmesi durumunda tankın içinde herhangi bir zamanda çok fazla enerjinin oluşması şeklinde olabilir. Bu durum temizlenen parçalarda kavitasyon erozyonuna sebep olabilir. Bu tür sistemlerde mutlaka güç yoğunluğu kontrolü yapılmalıdır. Şekil 3.18. bu duruma bir örnektir [11].

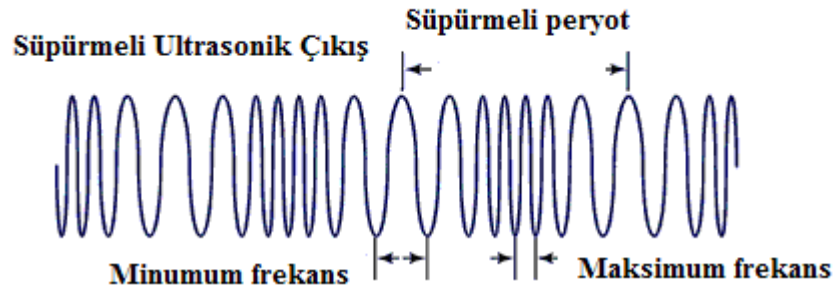
- Sistem bir set dönüştürücüye ve bir jeneratöre sahiptir. PLC kontrolü yardımıyla frekanslar otomatik olarak birinden öbürüne anahtarlanarak kontrol edilir. Bu metotta çoğu zaman ultrasonik tankın içinde bir anda yalnızca bir frekans değeri mevcuttur. Bu tipte dönüştürücünün yer sorunu olmaz fakat tankta bir anda birden fazla frekans aynı anda bulundurulamaz bu durum bu tür sistemlere çoklu frekans kullanamama gibi bir sınırlama getirir.



Şekil 3.18: Tankın içinde birden fazla frekansların olduğu durumlar [11]

- Ultrasonik jeneratör içine entegre edilen bir devre ile dönüştürücüye gönderilen sinyal, belli bir merkez frekans etrafında yavaş yavaş değiştirilerek süpürmeli frekans elde edilir. Bunun sonucunda tank içindeki duran dalgalar yer değiştirir ve enerjinin bütün tank boyunca yayılması sağlanır. Frekans süpürmeli sistem, hassas parçaların tank içindeki duran dalgalardan etkilenmesini önler. Aşağıda

Şekil 3.19.da süpürmeli frekans örneği görülmektedir [1]. Temel frekansın ne olacağı ve hangi oranda kaydırılacağı devre tasarımcı tarafından belirlenir. Bazı jeneratörler değiştirme oranının operatörler tarafından seçilmesine izin verir, bazıları ise bu duruma izin vermez. Bunun sebebi dönüştürücülerin çok dar bir bant aralığına sahip olmasındandır. Eğer frekans bu aralıktan uzakta olursa dönüştürücü çalışmasını durdurur ve güç kaybı olur, belki de dönüştürücü zarar görür.



Şekil 3.19: Süpürmeli frekanslı çalışma

3.5. Ultrasonik Temizleme Sürecinde Optimizasyon

Ultrasonik temizlemede iyi bir sonuç almak için temizleme sıvısındaki kavitasyon yoğunluğu çok önemlidir [4]. Kavitasyonun şiddetini belirleyen faktörler üçe ayrılabilir [19].

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

3.5.1. Ultrasonik dalganın genliği ve frekansı

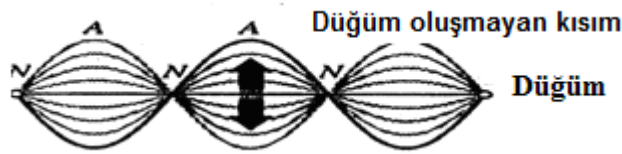
Ultrasonik tankın içinde oluşan kavite kabarcıklarının ne kadar büyüyeceği ultrasonik jeneratörün frekansı tarafından belirlenir. Bu kavite kabarcıklarının patlaması direkt olarak tankın temizleme kapasitesi ile ilgilidir. Ultrasonik temizlikte genellikle 20-250 kHz frekans aralığı kullanılır. Bu kavitasyonun olduğu en etkili aralık olarak bilinir.

Herhangi bir ultrasonik sistemde tankın tabanından çıkan ve sıvı yüzeyinden yansıyan ultrasonik dalgalar temel frekansın harmonikleri ile birlikte titreşerek duyulabilir bir ses meydana getirirler [21]. Düşük frekansta çalışan sistemler (20-40 kHz) yüksek frekanslı sistemlere göre (40 kHz ve üstü) daha gürültülüdür.

Ultrasonik şiddet, yayılan dalganın genlik ve frekansına bağlıdır. Verilen herhangi bir güç değerinde 20 kHz ses dalgalarının oluşturduğu şiddet 40 kHz' lik ses dalgalarının oluşturduğu şiddetin yaklaşık olarak iki katıdır[21]. Yani 20 kHz' lik dalgaların kavitasyon yoğunluğunun doğurduğu temizleme gücü 40 kHz likten daha fazladır.

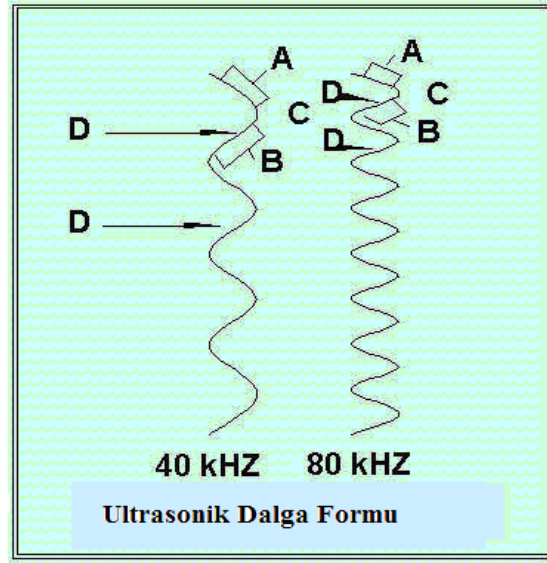
20 kHz' de daha yavaş kavitasyon baloncucu oluşur fakat daha güçlü patlayarak etrafa daha fazla enerji verir. Bu homojen bir temizlik için uygun bir durum değildir. Ultrasonik sistemin düşük frekanslarının uzun dalga boyları sıvı ortamı boyunca çok değişik noktalarda duran dalga örüntüleri oluştururlar [21].

Dönüştürücünün yüzeyinden yayılan ultrasonik dalgalar ile sıvı yüzeyinden geri yansıyan dalgaların girişiminden duran dalgalar meydana gelir(duran dalga, zıt yönde ilerleyen iki dalganın toplamıdır). Duran dalgada minimum genliklerin olduğu noktalara düğüm(node), maksimum genliklerin bulunduğu noktalara ise düğüm oluşmayan noktalar(antinode) adı verilir [15]. Aşağıda Şekil 3.20. de duran dalgalar gösterilmiştir [22].



Şekil 3.20: Sıvı içindeki duran dalgalar

20 kHz' lik duran dalgaların düğüm noktaları ile düğüm oluşmayan bölgedeki maksimum genlikli kısım arasındaki uzaklık 40 kHz lik duran dalgalarının iki katıdır. Kavitasyon öncelikle düğüm olmayan bölgelerde oluşur. Kavitasyonun olduğu bölgenin uzunluğu 20 kHz' de 40 kHz' dekinden daha fazladır ve 20 kHz' de ayrıca ölü bölge (kavitasyonun olmadığı ya da çok az kavitasyonun olduğu bölge) daha geniştir.



Şekil 3.21: Ultrasonik dalga formları

Bu yüzden ki 20 kHz' lik radyasyon daha yavaş kavitasyon oluşturmaya rağmen baloncuklar daha büyük olacağından daha güçlü bir patlama olur ve daha fazla kavitasyon yoğunluğu sağlar fakat daha az homojendir ve daha az tutarlıdır. Heterojenliği azaltmak ya da tamamen ortadan kaldırmak için frekans süpürmeli ya da çoklu frekans sistemler kullanılabilir. Böylece birkaç örtüşen duran dalga aynı zamanda oluşturulabilir ve bunun sonucunda ölü bölgeler azaltılarak kavitasyon oluşumu farklı bölgelere kaydırılarak daha homojen bir temizlik elde edilebilir. Frekans arttıkça da baloncukların boyu küçülecek ve ulaşılabilen bölgelerle birlikte daha homojen bir temizlik olacaktır. Şekil 3. 21' de farklı frekanslardaki ultrasonik dalga formları görülmektedir [13]. Şekil üzerinden açıklama yapılırsa, D noktaları arasındaki mesafe patlamalar arasındaki süreyi temsil eder. Düşük frekansta bu süre daha uzundur. A noktaları sıkıştırma fazını B noktaları gevşeme fazını temsil eder. Düşük frekanstaki A ve B süreleri daha uzundur. Dolayısı ile baloncukların büyümesine daha çok zaman ayrılmış olur ve baloncuklar daha çok büyür. C noktaları da sıkıştırmanın maksimum olduğu anı gösterir.

3.5.2 Sıvının buhar basıncı, yüzey gerginliği, yoğunluğu ve kayganlığı

Kavitasyon yoğunluğunun maksimize edilmesinde göz önünde bulundurulacak en önemli etken sıcaklıktır. Çünkü kavite oluşumunda etkili olan sıvının kayganlığı, sıvı içindeki gazın çözünürlüğü, çözölmüş gazın sıvı içindeki difüzyon

oranı ve buhar basıncı bunların hepsinin değişmesi sıcaklığın değişmesine bağlıdır. Saf sudaki kavitasyon 71 °C civarında maksimize edilmektedir [1]. Maksimum kavitasyon etkisi için sıvının kayganlığının(viscosity) minimum olması gerekir. Sıvı kaygan olduğu zaman kavitasyon baloncuğunun yeterince hızlı oluşmasına ve güçlü bir şekilde patlamasına izin vermeyecektir. Sıcaklığın artışı çoğu sıvıların kayganlığını düşürür.

İyi bir kavitasyonun olması için temizleme sıvısının mümkün olduğunca az miktarda çözünmüş gaz içermesi gerekir. Kavitasyon baloncuğu büyüme fazında iken sıvı içindeki çözünmüş gazlar baloncığa gelirler ve bunlar istenilen ultrasonik etki için gerekli olan güçlü patlamaya engel olurlar. Sıvı içindeki çözünmüş gazların miktarı sıcaklık arttıkça azalır.

Sıvı içindeki çözünmüş gazların difüzyon oranı yüksek sıcaklıklarda artar. Bu durum sıvıdaki çözünmüş gazların yüksek sıcaklıkta düşük sıcaklığa göre daha çabuk atılmasını sağlar ki sıvıdaki çözünmüş gazlar böylece minimize edilir. Sıcaklığın artışı lokal buhar basıncını sıvının buhar basıncına yaklaştırır ki bu da kavitasyon olayını kolaylaştırır. Kavitasyon sıvısının buharı kavitasyon baloncuğunu doldurunca, buhar kavitasyonu oluşur ki bu kavitasyon için çok etkili bir durumdur. Sıvının sıcaklığı kaynama sıcaklığına doğru yaklaştıkça kavitasyon yoğunluğu düşer ve sıvı kaynamaya başlayınca kavitasyon durur.

Sıvının yüzey tansiyonu yükseldikçe minimum kavitasyon oluşabilme enerjisi de artar. Ancak bu durumda da kabarcık patladığında daha fazla şok dalga enerjisi meydana getirir. Saf suyun yüzey tansiyonu $72 \times 10^{-5} \text{N/cm}$ civarındadır, oda sıcaklığında kavite zor oluşturulur. Ancak sıvıya yüzeyde aktif bir kimyasal malzeme (deterjan) katıldığında yüzey gerginliği $30 \times 10^{-5} \text{N/cm}$ ye düşer ve kavite oluşturulabilir [13]. Sıvının buhar basıncı düşük olduğu zaman, soğuk suda olduğu gibi kavite üretimi zordur fakat sıcaklık arttıkça buhar basıncı değeri gitgide yükselir. Her sıvının kendine has sıcaklık kavitasyon ilişkisini gösterir bir karakteristik eğrisi mevcuttur.

Kavitasyon yoğunluğu ultrasonik temizleme sistemlerinde kullanılan güç seviyelerindeki ultrasonik güçle direkt ilişkilidir. Eğer güç, kavitasyon eşik

değerinin çok üstüne çıkarılırsa kavitasyon yoğunluğu durur ve ancak bazı teknikler kullanılarak belki artırılabilir. Kavitasyon yoğunluğu ile ultrasonik frekans ters orantılıdır. Ultrasonik frekans arttıkça kavitasyon baloncuğunun boyutu küçülecek ve daha az şiddetli patlamalar olacağından kavitasyon yoğunluğu azalacaktır.

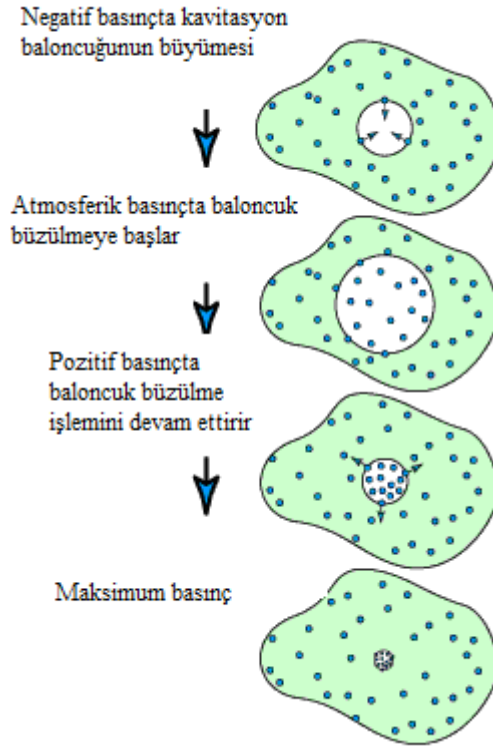
3.5.3. Statik sıvı koşulları ve akış karakteristiği

Temizleme uygulamalarında kullanılacak olan sıvının statik koşulları ve akış karakteristiği ultrasonik alan şiddetini karakterize eden duran dalga örüntüsü oluşumu ile ilişkili olup bu şartlar altında kavite şiddeti maximize edilebilir. Etketif temizleme için tavsiye edilen yöntemlerden biri olan, sıvının düzenli olarak devam eden arındırma işlemi sayesinde çok az ya da hiç kavitasyon kaybı olmayacaktır. Homojen bir temizlik için de bu sistemin kullanılması uygundur.

3.5.4. Sıvıdan gazı giderme (degassing) olayı ve temizlemeye etkisi

Her sıvı çözülmüş oksijen içerir. Ultrasonik temizleyicinin iyi bir şekilde çalışabilmesi için bu çözülmüş oksijenin (veya başka gazların) çözeltiden dışarı atılması gerekir. Ultrasonik tankın temizleme gücü kabarcıkların ne kadar şiddetli patladığına bağlıdır. Eğer temizleme sıvısının içinde herhangi bir çözülmüş gaz varsa bu bölgenin basıncı düşecek ve baloncukların güçlü bir şekilde patlamasını engelleyecektir. Bu da tankın temizleme gücünün azalması demektir.

Sıvı içindeki ses dalgalarındaki negatif basınç (basıncı azaltılmış dalgalar) süresince sıvıda ayrışma olur ve kavitasyon baloncuğu büyümeye başlar. Negatif basınçtaki kavitasyon baloncuğu büyürken sıvı içinde bulunan çözülmüş gazlar baloncuğa doğru hareket ederek(diffuse) baloncuğun içine girerler. Negatif basınçlı dalgalar bitip pozitif dalgalar başladığında ve baloncuğun iç basıncı ile dış basıncı eşit olduğunda baloncuk büzülmeye başlar. Sıkıştırılma esnasında dışarıdan baloncuğun içine girmiş olan çözülmüş gazlar da sıkıştırılacak ve bu gazlar tekrar dışarı çıkmak isteyecektir. Fakat baloncuk, içinde gaz içerdiği müddetçe patlatılamayacak, ancak ezilmiş küçük bir gaz paketçisi halinde kalacaktır. Bu durum Şekil 3.22' de gösterilmiştir ve sıvıdan gaz giderme olayında(degassing) dikkate alınır [1]. Bu küçük gaz paketçikleri bir araya gelip birleşerek yer çekimine karşı koyabilecek hale gelir ve böylece sıvı yüzeyine çıkıp yüzebilir böylece sıvıdan gazlar giderilmiş olur.



Şekil 3.22: Sıvıda çözülmüş gazlar bulunduğunda hava baloncuklarının durumu

Başarılı bir degassing işleminde bir kritik faktör, kabarcıkların büyümesi, yükselmesi ve yüzeyden çıkıp gitmesi meselesidir. Aynı zamanda sıcaklık, viskozite, buhar basıncı ve yüzey tansiyonu gibi parametreler de kritik faktörler arasındadır. Bu durumda kabarcıkların yüzeye ulaşana dek kat edeceği mesafe önemli olmaktadır. Buradaki geçiş süresine (transit time) izin verecek şekilde süreç tasarlanmalıdır. Bunu sağlamak için de periyodik olarak enerjinin kesilmesi gereklidir. Yani bu ultrasonik radyasyonlar darbeler (pulse) şeklinde üretilip uygulanmalıdır [1,14]. Meseleyi daha karmaşık hale getiren bir şey de kavitasyon olayının hem kabarcıkları dağıtma hem de birleştirmeye sebep olmasıdır. Bu durumda da enerji yoğunluğunun uygun seçilmesi yani güç kontrolü gereklidir.

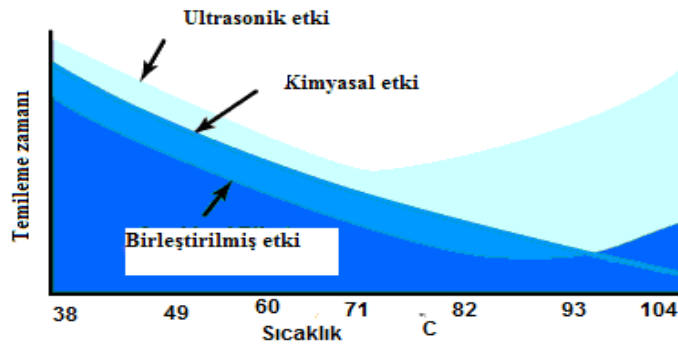
Darbelerin oluşumu yaygın olarak ultrasonik jeneratör devresi içinde entegre edilmiş darbe üretici devreleri sayesinde elde edilir. Bu amaçla kaliteli olan jeneratörlerde mikrodenetleyiciler kullanılmaktadır [13]. Düşük akımlı devre bölümünde darbe genişlikleri ve darbe boşlukları hassas bir biçimde ayarlanabilmekte, daha sonra bu

çıkışlar kullanılarak yüksek akım ve gerilimli ultrasonik enerji darbeleri üretilip kontrol edilebilmektedir. Gaz giderme işlemi için darbe yapısı kısa süreli, küçükten başlayıp normal seviyeye kadar yükselen enerji yoğunluğu, bunu takiben de kabarcıkların yükselip yok olabilmesi için nispeten daha uzun süreli bekleme (recovery) periyodu şeklinde olmalıdır.

3.5.5 Temizleme etkisinin maksimize edilmesi

Ultrasonik temizleme sürecinin başarılı olmasında temizleme kimyasalının seçimi çok önemlidir. Seçilen kimyasal temizlenecek metale uygun olmalı ve metal üzerindeki temizlenecek maddeleri temizleme kapasitesi bulunmalı. Seçilen kimyasal iyi kavite olmalı. Pek çok temizleme kimyasalları ultrasonik temizlemede başarılı bir şekilde kullanılmıştır. Bazıları özel olarak ultrasonikte kullanılmak üzere formüle edilmiştir. Yüzey gerginliğini azaltan kimyasal formüller tercih edilir.

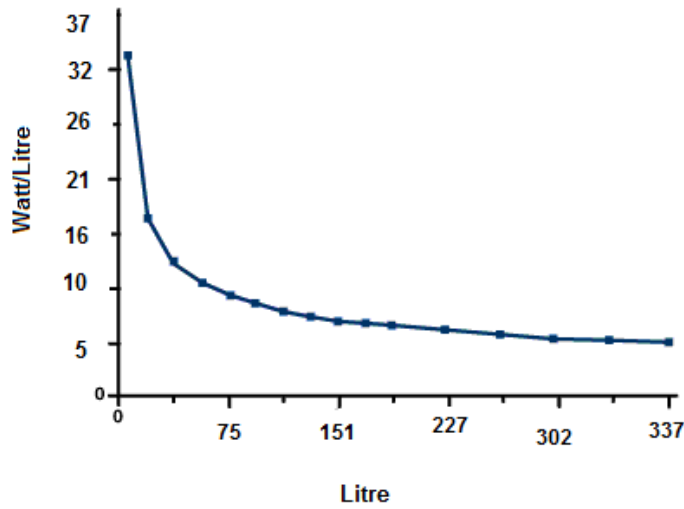
Daha önce sıcaklığın kavitasyon için öneminden bahsedildi. Kimyasalların temizliğe olan etkileri sıcaklık ile çok ilişkilidir. Saf suda yaklaşık olarak 71°C' deki (160°F) sıcaklıkta kavitasyonun maksimum olduğu belirtilmiştir [1]. Temizleme maddesine bağlı olarak optimum temizlik bazen daha düşük bazen de daha yüksek sıcaklıkta görülebilir. Genel olarak her bir kimyasal, ultrasonik temizlik üzerindeki maksimum etkisini tavsiye edilen sıcaklıkta gösterir. Diğer temizleyiciler daha düşük bir sıcaklıkta en iyi performansı gösterebilirler ancak sıcaklık 60°C kadar düşerse bu performanslarını düşürebilir. En iyisi kimyasalı, tavsiye edilen maksimum sıcaklık değeri geçmeden kullanmaktır. Şekil 3.23' te temizleme zamanının ultrasonik ve kimyasal etkiye karşı değişimi gösterilmiştir [1].



Şekil 3.23: Temizleme zamanının ultrasonik ve kimyasal etkiye karşı değişimi [1]

Başarılı bir temizlik için temizleme çözeltisinden gaz giderme olayı çok önemlidir. Çözelti yeni ise temizleme işine başlamadan gaz giderme olayı mutlaka yapılmalıdır. Gaz giderme olayı, çözeltiye kimyasal madde eklendikten ve hangi enerji seviyesinde çalışacağı ayarlandıktan ve sıcaklık yükseltildikten sonra yapılır (çalışmaya hazır hale geldikten sonra). Gaz giderme süresi kazanın kapasitesine ve çözeltinin sıcaklığına bağlı olarak birkaç dakikadan birkaç saate kadar değişebilir. Isıtılmamış bir tankın gaz giderme olayı birkaç saat sürebilir. Küçük gaz baloncukları sıvının yüzeyinde görünmeyene ve dalga tepeliklerinin örüntüsü görünene kadar gaz giderme olayına devam edilir.

Ultrasonik tanka verilen ultrasonik güç tüm tankta yeterli kavitasyon meydana getirecek kadar olmalıdır. Litre başına ultrasonik güç, bir ölçüm kriteridir ve pratikte bir ultrasonik temizleme tankındaki olması gereken asgari güç seviyesini belirlemede kullanılır. Şekil 3.24’ deki grafikte gösterildiği gibi, tankın hacmi arttıkça litre başına düşen gerekli minimum güç miktarı azalır [1].



Şekil 3.24: Litre değeri arttıkça litre başına güç [1]

Temizlenecek parça çok kirli ise tamamen temizlenmesi için ek enerjiye ihtiyaç duyulur. Fazla enerji hassas parçalar üzerinde deformeye sebep olabilir. Bir tek tank içinde çok değişik metaller temizlenecek ise, değişik temizleme seviyelerinde gerekli güç ayarlaması yapılması için ultrasonik güç kontrolü önerilir. Parça üzerinde etkili bir ultrasonik temizlik için hem kimyasal temizleme maddesi hem de ultrasonik enerji önemlidir. Temizlenecek parçanın temizlenecek kısımlarının temizleme sıvısı

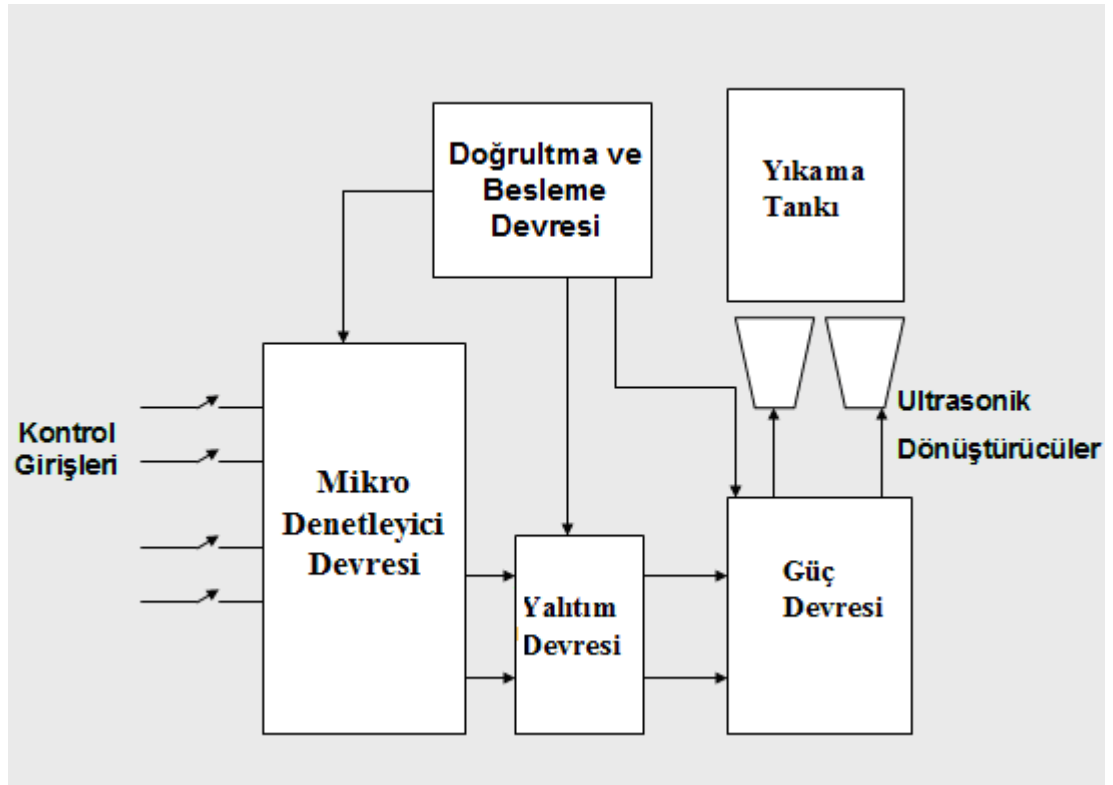
içinde olmasına dikkat edilmelidir. Parçaların konulduğu sepet ultrasonik enerjiyi geçirecek Şekilde tasarlanmalıdır ve parçalar ultrasonik enerjiyi gorecek Şekilde yerleştirilmelidir. Temizleme işlemi suresince ulaŐılması zor olan bölgelere ve kr noktalara ulaŐılması bakımından parçaların sıra ile konulması ve arada bir yer değiştirilmesi gereklidir.

BÖLÜM 4. MİKRODENETLEYİCİ TABANLI ULTRASONİK TEMİZLEME MAKİNESİNİN TASARIM AŞAMALARI

4.1 Sistemin Mimarisi

Tasarımı gerçekleştirilen sistem Şekil 4.1’ de gösterilmiş olup beş ana bölümden meydana gelmiştir. Bunlar:

Mikrodenetleyici devresi, yalıtım devresi, güç devresi, doğrultma ve besleme devresi ve yıkama tankıdır. Aşağıda kısaca bahsedilen bu bölümlerden daha sonra detaylı olarak bahsedilecektir.



Şekil 4. 1: Tasarımlanan ultrasonik temizleme makinesinin blok şeması

Mikrodenetleyici devresi: Tuş takımı ve led göstergeleri de içine alan PIC serisinden bir mikroişlemcinin kullanıldığı kontrol kartıdır.

Yalıtım devresi: Mikrodenetleyiciden elde edilen PWM darbelerini güç devresindeki güç mosfetlerini sürebilecek gerilim seviyesine yükselten sürücü devredir.

Güç devresi: Ultrasonik dönüştürücülere uygulanacak sinyali üreten yüksek frekanslı ve yüksek genlikli modüle edilmiş sinüsoidal işaretlerin üretildiği devredir.

Doğrultma ve besleme devresi: Şehir şebekesinden alınan gerilimi doğrultarak mikrodnetleyici, yalıtım ve güç devrelerinin beslenmelerini sağlayan gerilimleri üreten devredir.

Yıkama Tankı: Paslanmaz çelikten yapılan, kullanılacak yere göre dikdörtgen, kare veya daire şeklinde olabilen, içinde çözelti ile birlikte temizlenecek malzemenin konulduğu sepeti bulunduran bölümdür. Tankın genellikle altında ve/veya yanlarında, tankın büyüklüğü ile orantılı sayıda dönüştürücü bulunur.

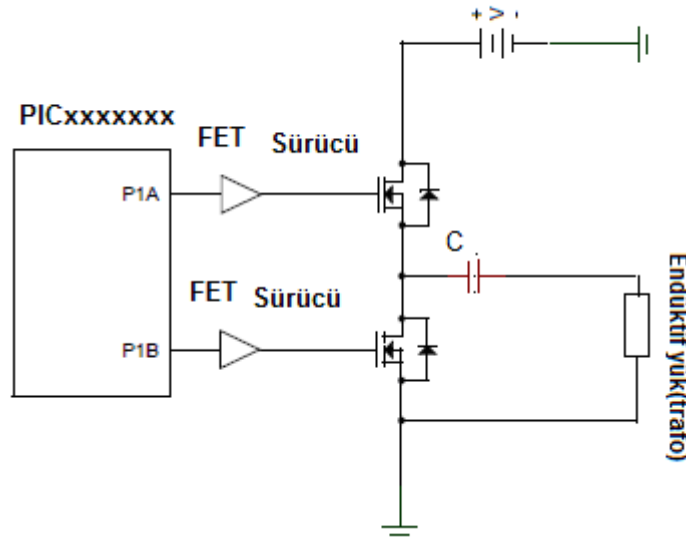
4.2. Mikrodnetleyici Seçimi

Ultrasonik devreye ultrasonik sinyal göndermek için DC akımdan AC akım elde ederken anahtarların hızla açılıp kapanmasını sağlayacak olan PWM darbelerinin eşlenik ve senkronize olması gerekmektedir. PIC mikrodnetleyici ailesinden PIC18FXXXX seçilme nedeni ECCP modülünün bu mikroişlemcide bulunmasıdır. Seçilen PIC mikrodnetleyicisi dört farklı PWM moduna sahiptir. Bu modlardan yarım köprü(half bridge) modu ihtiyacı karşılamaktadır. Zenginleştirilmiş Yakala/Karşılaştı/PWM modülündeki (Enhanced Capture/Compare/PWM Modules) PWM modunun yarım köprü çıkışının detayları Bölüm 4.3.1 de anlatılacaktır. Ayrıca Programlanabilen ölü-bant gecikmesi 28 pinli PIC'ler de mevcut değildir

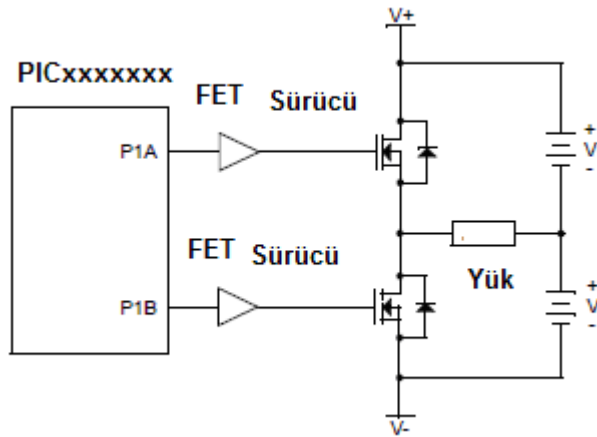
4.3. Yarım Köprü(half bridge) PWM Modu ile DC/AC Dönüştürme Metotları

Şekil 4.2, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4 deki devrelerde mikrodnetleyicinin P1A ve P1B olarak gösterilen çıkışlarında birbirinin eşleniği olan PWM sinyalleri elde edilir. Bu sinyaller kullanılarak DC-AC dönüşüm farklı yollarla elde edilebilir. Şekil 4.2 deki devrede sürücü devresi ile birlikte iki adet güç MOSFET'i kullanılmıştır. Bu devrede kullanılan kondansatörün dolma ve boşalması sayesinde yük uçlarına sırasıyla farklı polaritede gerilim aktarılabildiğinden, simetrik DC gerilim kaynağı kullanmak yerine tek bir DC güç kaynağı kullanmak yeterli olmaktadır. Güç harcamasını azaltan bir yöntem olduğundan dolayı tez çalışmasında bu yöntem tercih edilmiştir. Ancak, bu devrede hiçbir zaman her iki MOSFET'in aynı anda iletim durumunda olmaması gerekmektedir. Aksi takdirde DC gerilim kaynağı direkt kısa devre

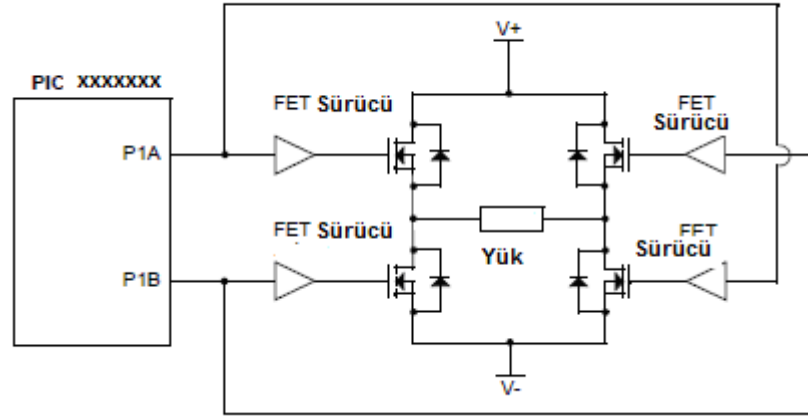
olmaktadır. Bu nedenle mikrodenetleyici üzerinde çalışacak yazılım buna göre şekillendirilmelidir veya gerekli emniyet tedbirleri alınmalıdır. Diğer bir problem de endüktif yük kullanılması durumunda kondansatör ve yük bobininin oluşturduğu RLC seri rezonans devresinin ortaya çıkarabileceği, rezonans anında oluşabilecek yüksek gerilimin güç devresine zarar verebilme ihtimalinin olmasıdır. Burada çalışma frekansına göre kondansatörün değerinin belirlenmesi çok önemlidir. Şekil 4.3 deki devrede böyle bir durum söz konusu değildir ancak iki adet DC güç kaynağı gerektirmesi dezavantajdır.



Şekil 4. 2: ECCP modülünde Yarım-Köprü Modunu kullanarak DC akımdan AC akım elde etme (Tezde kullanılan yöntem) [23]



Şekil 4. 3: Standart yarım köprü devresi(push-pull) [23]

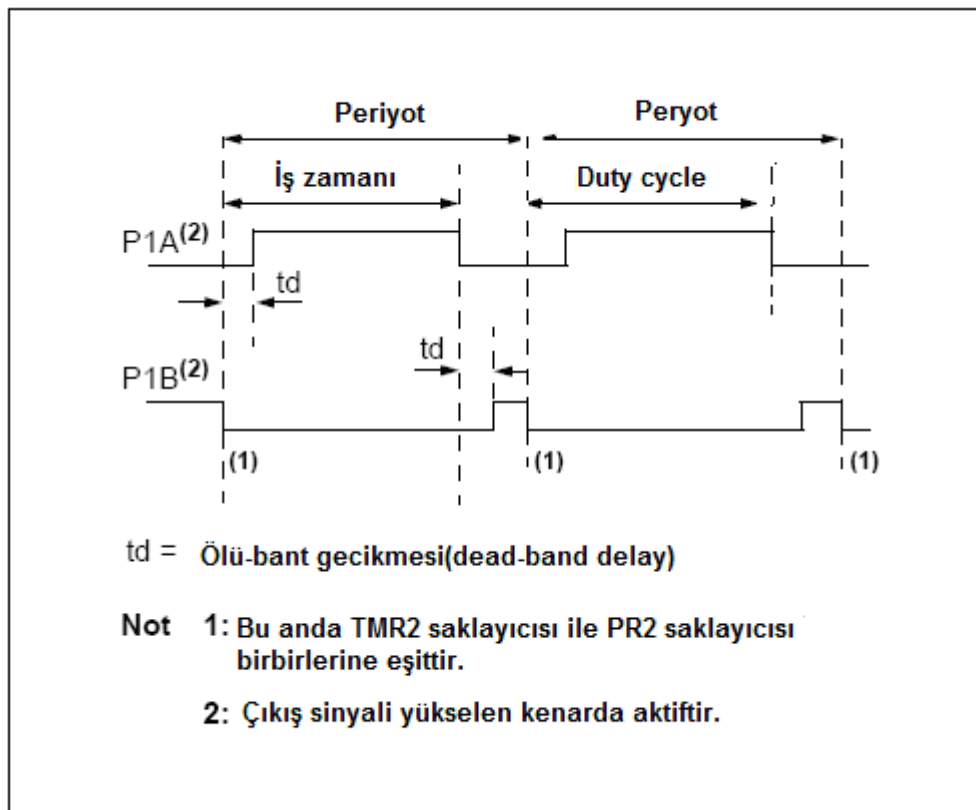


Şekil 4. 4: Tam köprü devresi [23]

Şekil 4.4 de ise tek veya simetrik kaynak kullanılabilir. Kondansatör kullanılmadığından rezonans kaynaklı yüksek gerilim ortaya çıkma durumu söz konusu değildir. Ancak burada 4 adet sürücü ve güç MOSFET'i kullanmak gerekmektedir. Bu da maliyeti artırmaktadır.

4.3.1. Programlanabilen ölü bant gecikmesi (programmable dead-band delay)

Yarım köprü uygulamalarında iki çıkış pini de PWM frekansı ile modüle edilmiş durumdadır. Güç anahtarlarının kapanması açılmasına göre daha fazla zaman gerektirir. Eğer aynı anda anahtarlanırlarsa iki anahtar bir süre için açık kalabilir. Bu zaman sürecinde çok yüksek bir akım güç transistörleri üzerinden akabilir ve diyot köprü devresini kısa devre yapabilir. Yarım köprü modunda dijital olarak programlanabilen ölü-bant gecikmesi(dead-band delay) ile bu durum önlenerek kısa devrenin etkisi ile güç anahtarlarının bozulması engellenebilir. Yani anahtarların açılması geciktirilerek kapanacak olan anahtara yeterli süre verilmiş olur. Gecikme, sinyalin iletilme sırasında aktif olmayan kısımdan aktif olan kısma geçerken oluşturulur. Şekil 4.5. te bu durum gösterilmiştir.



td = Ölü-bant gecikmesi(dead-band delay)

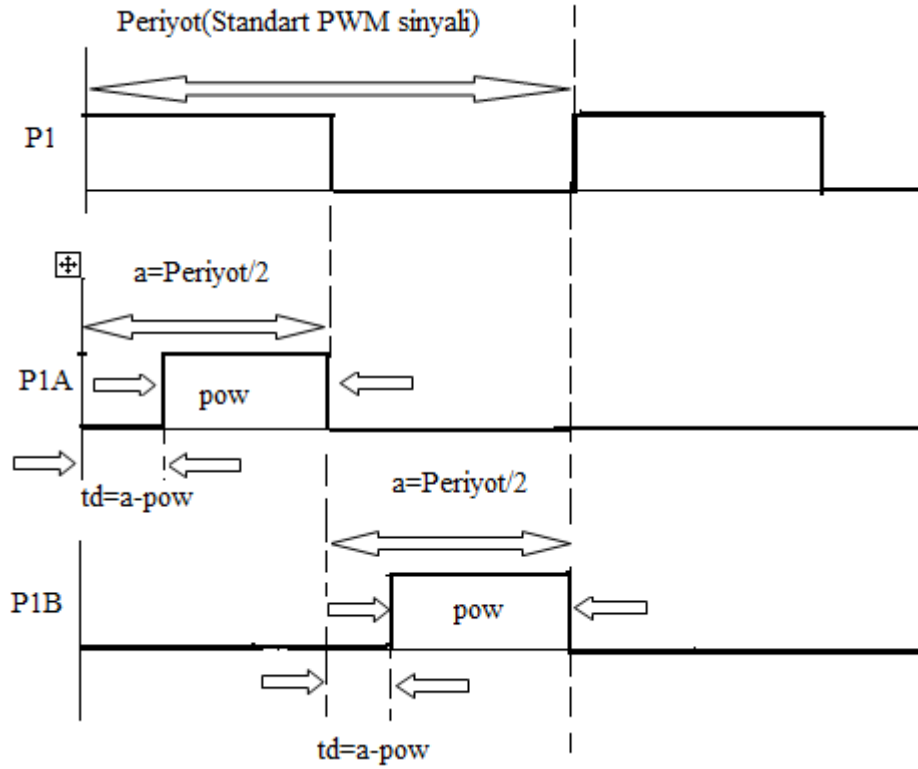
Not 1: Bu anda TMR2 saklayıcısı ile PR2 saklayıcısı birbirlerine eşittir.

2: Çıkış sinyali yükselen kenarda aktiftir.

Şekil 4. 5: Yarım-köprü PWM modunun çıkışı(ECCP) [23]

4.3.2. Programlanabilen ölü bant gecikmesi ile güç kontrolü

Bu çalışmada kullanılan PIC mikrodenetleyicisinin ECCP modülündeki programlanabilen ölü-bant gecikme özelliği sayesinde PWM1CON yazıcısının konfigüre edilmesi ile ölü-bant gecikmesi değiştirilerek iş zamanı(duty cycle) değiştirilebilmektedir. Bu değişim sayesinde modüle edilmiş sinyalin modüle edilen kısmı da değişmektedir. Modüle edilen bu sinyal direkt transformatöre uygulandığından piezo seramik dönüştürücüye iletilen ultrasonik sinyalin genliğinin efektif değeri değiştirilebilmekte, böylece de güç kontrolü sağlanabilmektedir. Dönüştürücü de kendisine uygulanan bu sinyalin genlik ve frekansına bağlı olarak ultrasonik tanktaki kavite yoğunluğunu oluşturmakta ve kavite yoğunluğu da yıkama gücünü belirlemektedir. PWM sinyalleri üzerinde oluşturulan ölü bant gecikmesini ve dolayısı ile güç kontrolünü gösteren zamanlama diyagramı Şekil 4. 6 da görülmektedir.



Şekil 4. 6: Gücün değişimi ile iş zamanının değiştirilmesi

Yarım köprü modunda PWM periyodunun yarısı kullanılır. Ölü bant gecikmesi(td) gücün değiştirilmesi ile değiştirilir.

$pow=0$ anki güç seviyesi ayar katsayısı (aynı zamanda doluluk-boşluk oranı (duty cycle))

td =ölü bant gecikmesi

Periyot katsayısı bulunurken osilatör frekansı ultrasonik çalışma frekansına bölünür. Osilatör frekansı 6MHz, ultrasonik çalışma frekansı 28KHz olursa periyot katsayısı 214,28 olur. Şekil 4.6 da “periyot” olarak gösterilen değişken bu sayının tamsayı kısmıdır ve aslında bir bölme oranını gösteren sayıdır. Ölü bant gecikmesinin hesaplanması bu periyot değişkeni üzerinden hesaplanır.

Örnek olarak periyot katsayısının 214 olduğu kabul edilirse, yarım köprü modunda:

$a = \text{Periyot}/2$ den $a = 214/2 = 107$ olur. Gücü ayarlayan katsayı olan “pow” 90 olursa,

$td = a - pow = 107 - 90 = 17$ olur. Pow değerini 80’e düşürdüğümüzde:

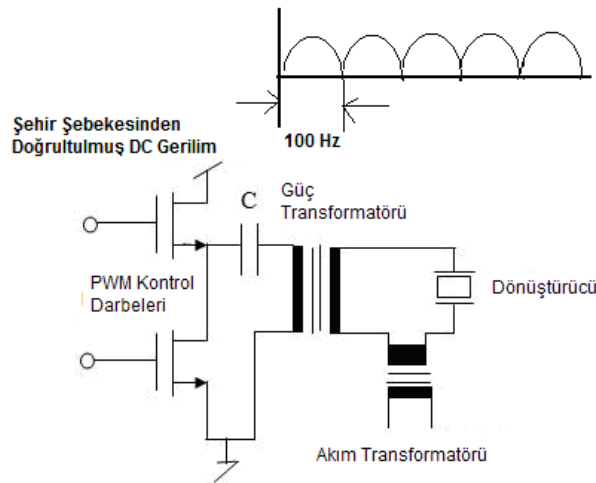
$td = 107 - 80 = 27$ olur. Bu durumda ölü-bant genişliği artar. Dolayısı ile güç azalır.

4.4. Güç Devresi ve Çalışma Prensibi

Güç devresi temel olarak ferit nüveli bir transformatör ve 2 adet güç mosfeti ile bunları koruyan 2 adet flyback diyodu ve bir adet yüksek gerilimli kapasitörden oluşan temel bir DC-AC inverter devresi yapısındadır. Farklı olarak sekonder devresine seri bağlı bir akım trafosu yerleştirilerek geri besleme yoluyla rezonans frekansındaki kaymalar algılanabilmektedir. Güç devresinin prensip şeması Şekil 4.7 deki gibidir. Literatürde bu amaca yönelik olarak genellikle köprü (full-bridge) inverter [24], [25], [26], ya da it-çek (push-pull) inverter [27] yapıları kullanıldığı görülür.

Mikrodenetleyiciden elde edilen PWM ultrasonik sinyali 0-5V genliğinde ve 28 kHz frekansında darbeler şeklinde olup, güç devresindeki MOSFET’lerin sürülmesinde kullanılacak sinyallerdir. Bu darbeler şehir şebekesinin tam dalga doğrultulmuş şeklini DC gerilim girişi olarak kullanan bir DC-AC dönüştürücü devresindeki güç MOSFET’lerine, bu uygulamalar için özel olarak üretilmiş olan sürücü tümleşik devrelerinden IR2110 veya IR2113 aracılığıyla yükseltilerek aktarılır.

28 kHz de anahtarlanan bu MOSFET ler sayesinde güç devresi çıkışında zarfı 100 Hz, taşıyıcı frekansı 28 kHz ve tepeden tepeye genliği ise 800-1000 Volt civarında değişebilen yüksek genlikli bir genlik modülasyonlu sinüsoidal işaret elde edilerek ultrasonik dönüştürücülere uygulanır.



Şekil 4. 7: Güç devresi prensip şeması

4.5. Program Akış Şeması

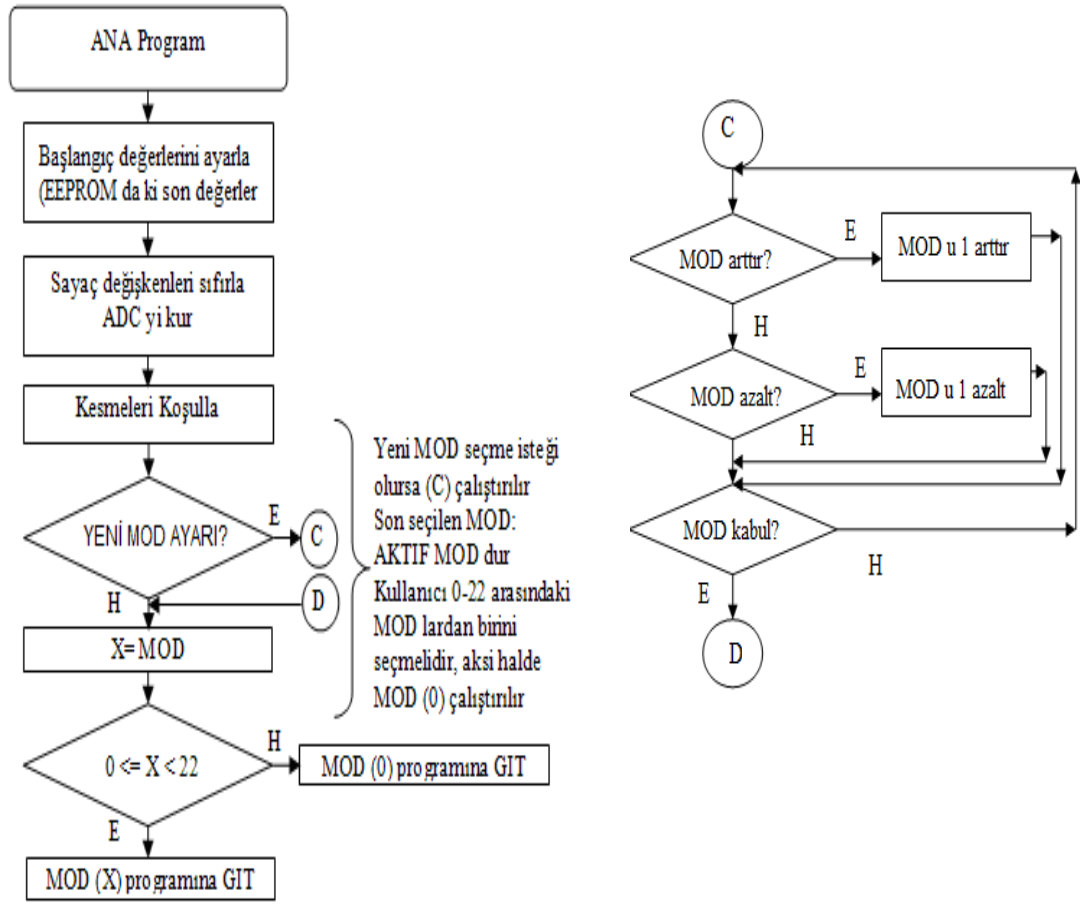
Program algoritması Şekil 4.8’de gösterildiği gibi bir ana program ve ona bağlı dört alt programdan meydana gelen uzunca bir akış şeması ile anlatılmıştır. Yazılım CCS-C diliyle yazılmıştır. İlk prototip cihaz, test amaçlı olarak 22 değişik yıkama moduna sahiptir. Bu çalışma modları özellikle sıvıdaki gazdan arındırma süresinin kontrolü, frekans taramalı veya sabit frekanslı çalışma modlarından oluşmaktadır. C alt programında yeni mod seçimi tuşlar yardımıyla yapıp mod değeri kalıcı hafızaya alınmaktadır.

Ana programda önce ilk koşullama işlemleri gerçekleştirilir. Kullanılacak değişkenlere başlangıç değerleri atanır. Daha sonra kesme düzenlemeleri yapılır ve kullanılacak modun seçme aşamasına geçilir.

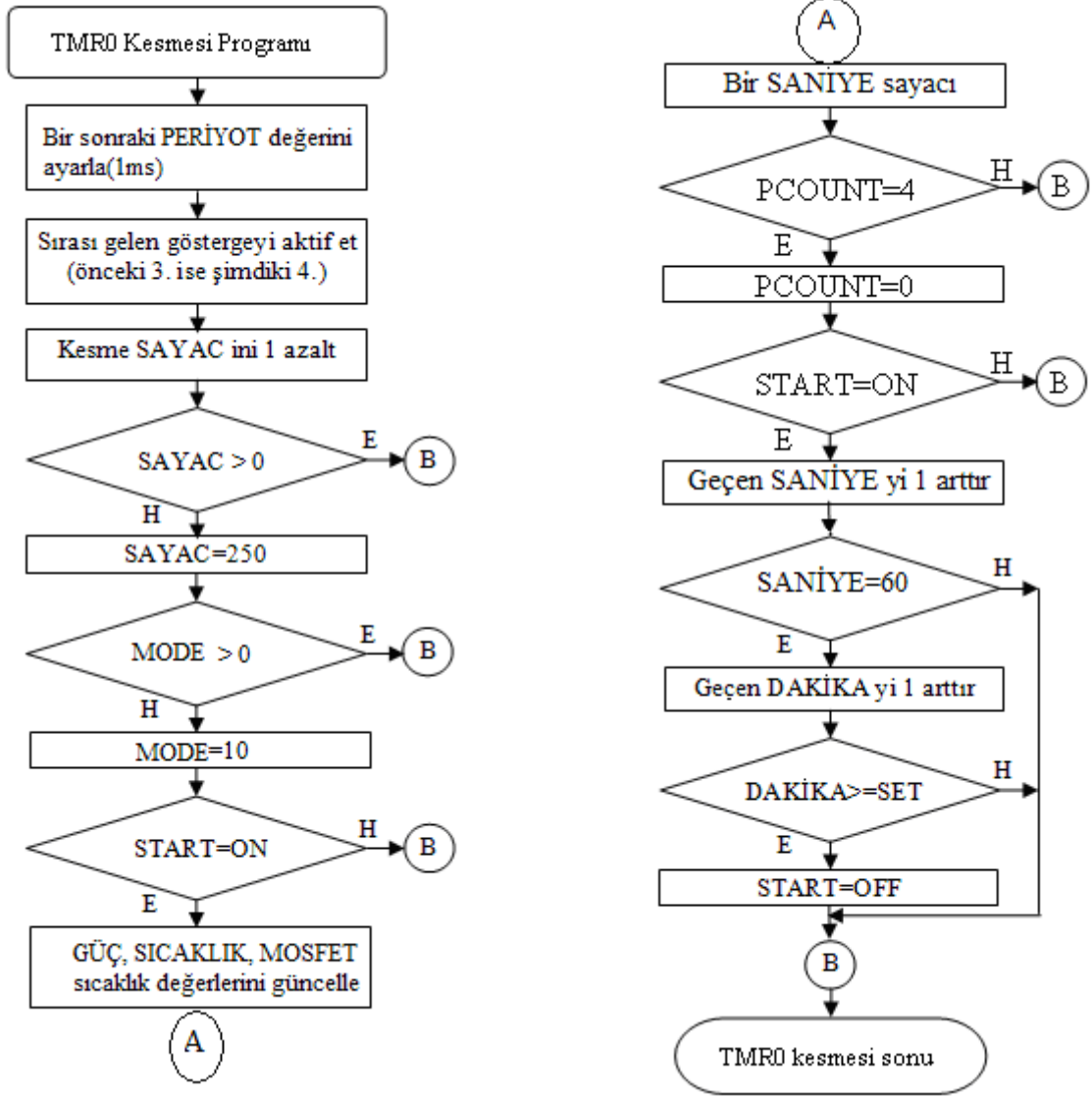
Yeni mod seçme isteği varsa tuşlar yardımıyla seçilir ve seçilen mod işleme konur. Böyle bir durum yok ise normal EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read Only Memory) dan okunan mod (en son kullanılan mod) göstergede gösterilir, bu aktif moddur. Eğer “modu arttır” yada “modu azalt” kontrol girişlerinden birine basılmışsa $0 \leq X < 22$ aralığında bir çalışma moduna gidilir, bu sefer göstergede bu mod numarası görüntülenir. Kontrol girişleri ile seçilen yada eepromdan okunan mod 0-21 aralığı dışında ise doğrudan mod(0) programı çalıştırılır

Mod(X) alt programının çalışması şöyledir:

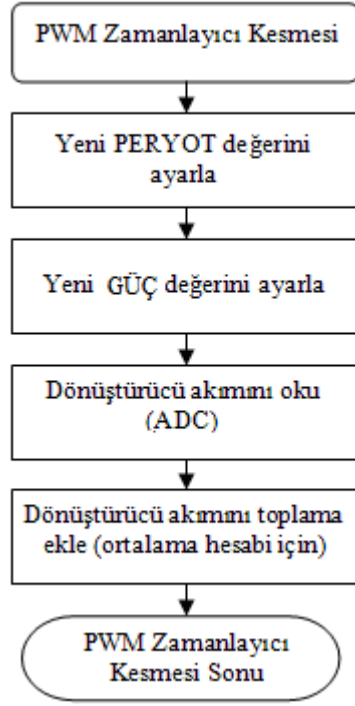
Mod parametreleri kalıcı hafızadan (EEPROM) okunur. Mesela temizleme zamanı, kazanın su sıcaklığı, güç ve peryot değerleri EEPROM dan okunur. Eğer değerler istenilenin dışında ise değişkenlere varsayılan değerler verilir. Çalışmaya belli süredeki (yaklaşık 2sn) gecikme ile başlanır. Bu esnada seçilen (EEPROM’a son kaydedilmiş) değerler görüntülenir, daha sonra çalışma esnasındaki değerler görüntülenmektedir. Alt programın çalışmaya başlaması için START butonuna basılmalıdır. Çalışma başladıktan sonra da tanımlanan aralıklarda sıcaklık, çalışma süresi, güç seviyesi, çalışma frekansı ayarlamaları yapılabilir. Çalışma işlemi istenildiğinde STOP tuşu ile sonlandırılmaktadır. X programı 0-21 arası değerlerden birini alabilir. Bu, 22 farklı test programının olduğunu gösterir.



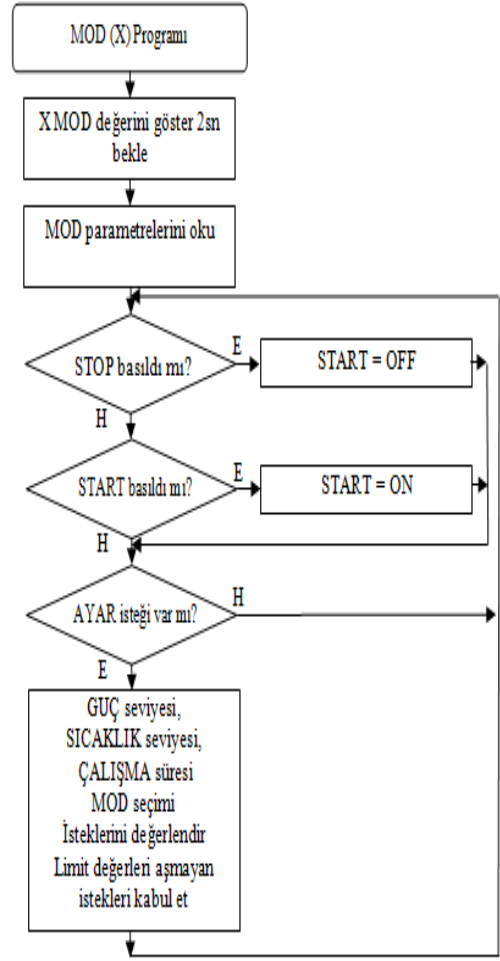
Şekil 4.8: Program akış diyagramı



Şekil 4.8 (devam): Program akış diyagramı



PWM Zamanlayıcı Kesmesi Hizmet programı akış şeması



Mod(X) programı akış diyagramı

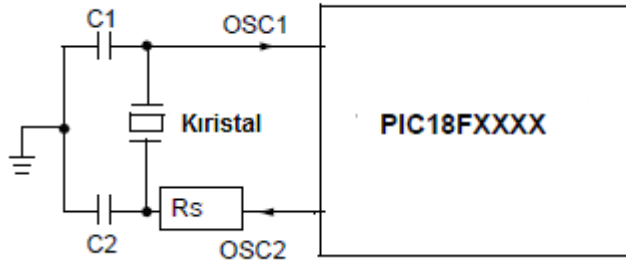
Şekil 4.8 (devam): Program akış diyagramı

Burada kullanılan mikrodnetleyici devresi üzerinde koşturulan özgün yazılım aşağıda listelenen özellikleri kapsamaktadır:

- Çalışma frekansının ayarlanması
- Güç kontrolü
- Sıvıyı gazdan arındırabilme
- Emniyet tedbirleri
- Tank suyu sıcaklık kontrolü
- Display kontrolleri
- Değışen rezonans frekansını otomatik olarak yakalayabilme

4.5.1. Çalışma frekansının ayarlanması

Gerçekleştirilen sistemde çalışma frekansı gerektiğinde istenilen değere (25 kHz-30kHz arası bir kademedede) manuel olarak da set edilebilmektedir. Sistemde 22 çalışma modu vardır. Bu modların bazılarında sabit frekansta çalışılırken bazılarında frekans tuşlarla belli bir değere kadar artırılıp azaltılabilir.



şekil 4. 9: HS osilatör için bağlantı şekli [23]

Bu çalışmada kullanılan dönüştürücü 28 kHz’lidir (sanayide kullanılan dönüştürücüler). Yani 28 kHz de rezonansa gelmektedir (Tankın su seviyesi değıştikçe yük değışeceğinden dönüştürücünün rezonans frekansı da değışir). Maksimum verim alabilmek için kullandığımız PWM sinyalinin de dönüştürücü ile uyum içinde olması gerekir ki bu da 28 kHz frekansı zorunlu kılmaktadır.

Mikrodnetleyici saat işareti için kullanılan osilatör frekansı 24 MHz’dir ve bu mikrodnetleyici tarafından 4’e bölünerek kullanılır. Yani mikrodnetleyici 6

MHz’lik bir uygulama frekansı ile çalışır. Buradan mikrodnetleyi için $T=1/f=1/6000000= 0,166666 \mu s$ olarak bir komutu işleme hızı bulunur. Şekil 4.9’ da HS osilatör için bağlantı şekli görülmektedir.

CCP modülü PWM modunda çalışırken Timer2 modülünü kullanır. 28 kHz’ lik PWM için gerekli olan PR2 nin(peryodun) bulunuşu aşağıdadır. Timer2 PR2 yazıcısındaki değere kadar sayar ve o değere eşit olduğunda TMR2 yazıcısını sıfırlayarak tekrar saymaya başlar.

$$T_{pwm}=[PR2+1]*(1/f)*(TMR2 \text{ bölme değeri})$$

$$f(\text{mikrodnetleyici komut işleme frekansı})=f_{osilatör}/4$$

$$f_{pwm}=1/T_{pwm}$$

$$f_{pwm}=f/(PR2+1) *1$$

Buradan PR2 çekilirse:

$$PR2= (f/f_{pwm})-1$$

$$= (6MHz/28kHz)-1$$

$$= 214,286-1$$

$$= 213,286$$

≈ 214 bulunur (Yarım periyot kullanıldığı için çıkan sonuç çift tamsayıya yuvarlanır). Formüldeki “1” ihmal edilirse denklem:

$PR2=(f/f_{pwm})$ şeklini alır. Buradan f_{pwm} ’i çekersek

$f_{pwm}=(f/PR2)$ elde edilir.

“Per” değişkenin değişik değerlerine karşılık gelen f_{pwm} değerleri Tablo 4. 1 de gösterilmiştir. Program içinde ise bu değer 1’er 1’er artırılıp azaltılarak 200 ile 240 arasında sınırlandırılmıştır. 25-30 kHz frekans aralığı için “per” değişkeninin 1 adımına karşılık, PWM frekansı 100-130 Hz aralığında değişmektedir.

Tablo 4. 1: “Per” değişkeninin değişik değerlerine karşılık gelen f_pwm değerleri

Per	f_pwm (Hz)
240	25000
236	25423
232	25862
228	26315
224	26785
220	27272
216	27777
212	28301
208	28846
204	29411
200	30000

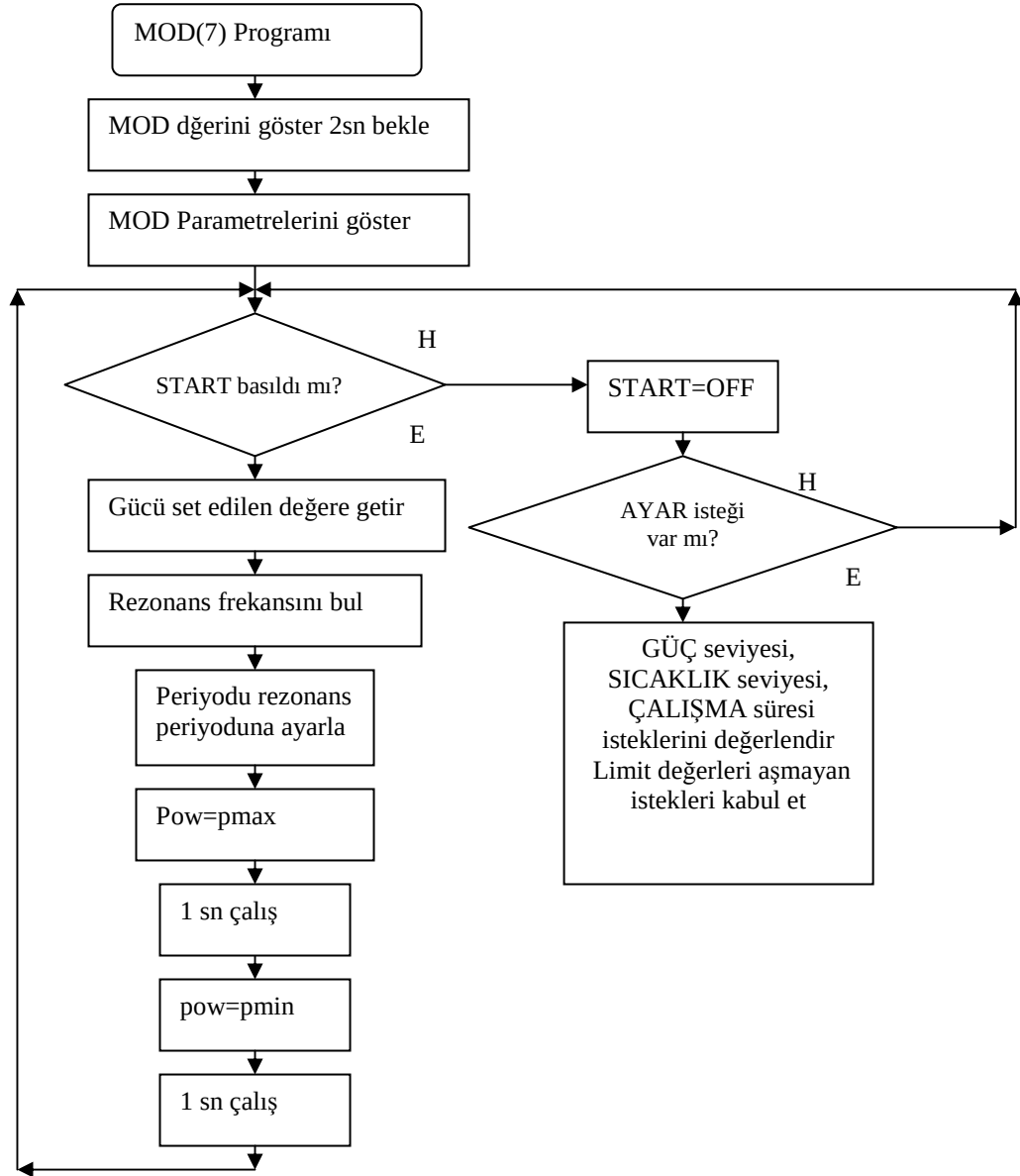
4.5.2. Güç kontrolü

Kullanılan mikrodenetleyicinin ECCP modülünün PWM modunun yarım köprü çıkış modunda çalışıldığında, programlanabilen ölü bant gecikmesi sayesinde güç kontrol edilmektedir. Bu konudaki detaylı bilgi Bölüm 4.3.2 de verilmişti. Bu nedenle bu bölümde tekrar edilmemiştir.

4.5.3. Sıvıyı gazdan arındırma

Sıvılarda çözünmüş halde olan gazların bulunduğu ve ultrasonik temizleme yapmadan önce sıvıyı bu gazlardan arındırmanın gerekliliği Bölüm 3.5.4 de belirtilmişti. Konunun önemini burada tekrar hatırlatmakta yarar vardır. Sıvıda bulunan çözünmüş gazlar ultrasonik temizliğin kaliteli bir şekilde gerçekleşmesine engel olurlar. Çünkü kavitasyon sırasında oluşan hava kabarcıklarının basıncı daha düşük olduğu için sıvının içindeki çözünmüş halde bulunan gazlar baloncuğun içine doğru hareket ederler. Baloncuğun içinde bu çözünmüş gazlar birleşerek daha büyük bir gaz paketçisi oluştururlar. Oluşan bu gaz paketçisi baloncuğun patlamasına engel olur ve kavitasyon yoğunluğunu düşürür. Gaz paketçiklerinin büyüklüğü yer çekimi ağırlığını geçtiği zaman sıvı yüzeyine doğru çıkmak isterler. Bu olaya fırsat vermek için bazı ultrasonik jeneratörlerde anahtarlama yöntemi ile ultrasonik enerji belli

aralıklarda kesilir. Enerjinin belli bir süre yüksek seviyede verilip sonra belli süre kesilmesi, önce kavitasyonun gerçekleşmesine ve daha sonra kavitasyon sırasında oluşan gaz paketçiklerinin de enerjinin kesilmesi sırasında sıvı yüzeyine çıkmasına fırsat verir. Bu olaya sıvıdan gaz giderme(degas) olayı denilir.



Şekil 4. 10: Mod7 çalışma programı algoritması

Tezde bu durum sistemin 1 saniye aralıklarla maksimum ve minumum güç değerlerinde anahtarlamalı çalıştırılma sayesinde elde edilmiştir. Minumum güçte çalışırken kavitasyon olayı gerçekleşmediği için, bu darbelerin kesildiği anlamına gelir. Programda mod 7 ile gerçekleştirilen bu durumun algoritması Şekil 4.10 da

verilmiştir. Burada p_{min} = minumum güç, p_{mak} =maksimum güç ve $pow=0$ anki güç değerlerini gösterir. Mod değeri ve parametreler displaylerde gösterilir. Daha sonra start butonuna basılıp basılmadığı kontrol edilir. Basılmadı ise ayar isteği olup olmadığı sorgulanır. Ayar isteği makul seviyelerde ise yerine getirilir. Değilse buton tekrar kontrol edilir. Start butonuna basıldı ise güç yavaş yavaş arttırılarak set edilen değere getirilir. Rezonans frekansı bir alt program vasıtası ile bulunur. Sistemin frekansı rezonans frekansına ayarlanır. Sistem maksimum güçte 1sn ve minumum güçte de 1sn çalıştırılarak sonsuz döngü işlemi devam ettirilir.

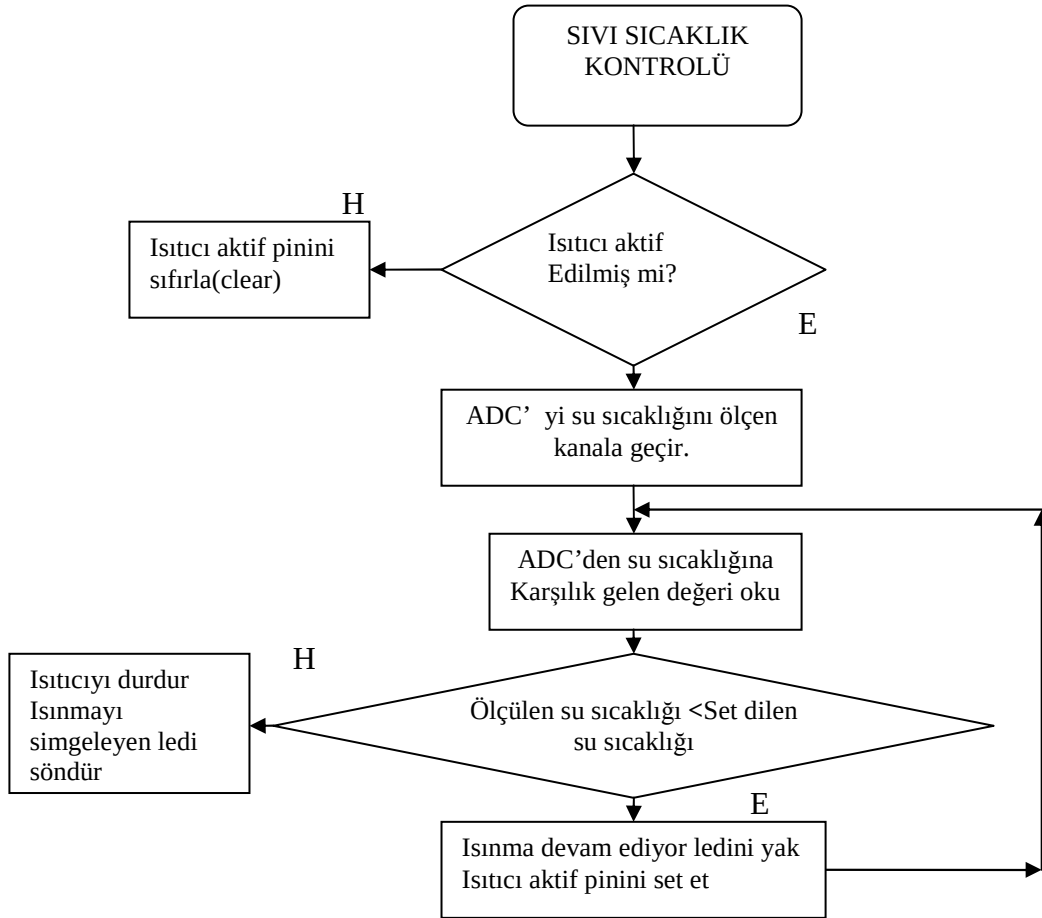
4.5.4. Emniyet tedbirleri

Güç transistörlerinin monte edildiği soğutucu üzerine bir sıcaklık sensörü (LM 35) monte edilerek aşırı sıcaklık değerine (örneğin 80 derece) karşılık gelen gerilim değeri PIC mikrodenetleyicinin ADC kanallarından biri tarafından algılanarak sayısal bir değere dönüştürülür. Bu okuma işlemi belli aralıklarla (her saniye de bir Timer0 kesmesi ile) yapılır ve set değeri aşıldığında güç devresine giden PWM işaret üretimi durdurulur. Aynı zamanda ısıtıcının besleme gerilimi de bir röle yardımı ile kesilir. Uzun süreli çalışmalarda veya güç MOSFET'lerinde herhangi bir sebeple ortaya çıkan uzun süreli kısa devre durumlarında aşırı akımdan kaynaklanan ısı artışı sebebi ile bu durumla karşılaşılabilir. Aslında güç MOSFET'lerinde meydana gelen ani kısa devreler durumunda güç besleme devresindeki sigortanın atması gerekir. Dolayısı ile sigorta kontrolü de emniyet tedbirlerinden biridir.

Tank dış yüzeyi üzerine yapıştırılan sıcaklık sensörü aracılığı ile de yukarıda anlatılanın benzeri bir sıcaklık kontrolü mekanizması sisteme ilave edilir. Temizleme tankının dışına yapıştırılan ısıtıcının gerilimi ADC kanallarından biri tarafından algılanır. Set edilen sıcaklık değeri aşıldığında mikrodenetleyici çıkış pinlerinden biri tarafından kontrol edilen tek transistörlü röle sürücü devresi tetiklenir. Çalışma süresi bittiğinde veya herhangi bir sebeple sistemdeki güç mosfetleri veya temizleme tankında aşırı ısınma durumu ortaya çıktığında bu röle kontağı açılarak ısıtıcının enerjisi kesilir. Böylece mikrodenetleyicinin ADC kanallarından ikisi emniyet tedbirleri için, biri de ileriki bölümlerde bahsedilecek olan otomatik rezonans frekansını yakalamak için kullanılmış olur.

4.5.5. Tank suyu sıcaklık kontrolü

Sıcaklığın maksimum kavitasyon olayında en önemli parametre olduğu daha önce belirtilmişti. Çünkü sıcaklık artışının kavitasyonu etkileyen diğer parametrelerle ilişkisi vardır. Bunlar suyun kayganlığı, sıvı içindeki çözünmüş gazların difüzyonu, normal halde bulunan gazların sıvıyı terk edişi ve buhar basıncıdır. Bu durum kavitasyon için sıcaklık gibi önemli bir faktörün program içinde değerlendirilmesini zorunlu kılmaktadır.



Şekil 4. 11: Sıvı sıcaklığı kontrolü algoritması

Tasarlanan sistemde, temizleme tankı dış yüzeylerine yerleştirilmiş ısıtıcıların sıvıda meydana getirdiği anlık sıcaklık değerinin set edilen sıcaklık değerini aşması durumunda güç kesilir. Sıcaklık hangi dereceye set edilmişse bu EEPROM'da belli bir adreste kayıtlı bulunur. Program herhangi bir modda çalışmaya set edildiğinde bu değer okunur. Sıcaklığı aktif et tuşuna basılırsa program set edilen sıcaklık değerine kadar sıcaklığı artırır. Set edilen değere gelindiğinde ısıtıcı durdurulur. Sıvı sıcaklığı kontrolüne ait olan algoritma Şekil 4.11 de gösterilmektedir.

4.5.6. Display kontrolleri

Mikrodenetliyicinin PORTC, PORTD pinlerinin tamamı ve PORTE pinlerinin bir kısmı çıkış olarak yönlendirilmiştir. Yedi parçalı göstergeler ve bunların sıra ile aktif edilme durumları bu pinler yardımı ile gerçekleştirilmiştir. Timer0 kesmesi kurulumundaki değerler ile kesme süresi 1ms olarak hesaplanmıştır. Timer0 kesmesi ile yazılımla 2,5 ve 1sn lik sayaçlar oluşturularak, 1 sn sayacı ile dakika sayılarak çalışma süresinin dolup dolmadığı kontrol edilir ve programın devam edip etmeyeceği kararı alınır. Ayrıca 1 sn lik ledlerin yanıp sönmesi sağlanarak 1 sn lik bayrak kontrolü yapılır. 2,5 sn sayacı ile de 2,5 sn de bir displaylerde görüntülenen sıcaklık, çalışma modu seçme, güç ayarı, çalışma süresi gibi büyüklükler displaylerin sıra ile aktif edilmesi ile görüntülenir. Program akış diyagramında Timer0 kesmesi program algoritması bölümü incelendiğinde (Şekil 4.8) olay daha iyi anlaşılabilir.

$$T_{kesme} = \left(\frac{1}{f} \right) \times (Bölme_oranı) \times (256 - X)$$

$$1ms = (1/6 \times 10^6 ms) \times 32 \times (256 - X)$$

$$(256 - X) = \frac{1 \times 10^{-3} \times 6 \times 10^6}{32}$$

$$X = 68.5$$

“X” TMR0’a yazılan değeri temsil eder.

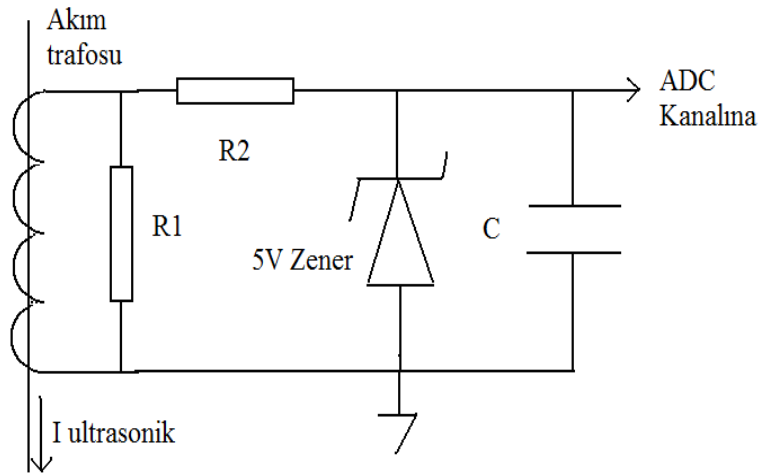
1ms’lik kesme için yazılımda X’in 68.5 olabilmesini sağlamak amacıyla X’e sıra ile 68 ve 69 değerleri verilerek ortalaması olan 1ms elde edilir.

4.5.7. Değişen rezonans frekansını otomatik olarak yakalayabilme

Tasarlanan sistem analog bir akım geri besleme devresi yardımıyla ultrasonik dönüştürücülerdeki yük değişimlerinden kaynaklanan rezonans frekansı kaymalarını algılayıp yeni tank yükü durumu için sistemi uygun çalışma frekansı değerine otomatik olarak set edebilme özelliğine sahiptir.

Ultrasonik sinyalin frekansı dönüştürücü rezonans frekansı ile uyumlu olursa yüksek verim alınır ve devreden maksimum akım geçer. Ancak sinyalin frekansı ile dönüştürücünün rezonans frekansı farklı olursa bunlar birbirlerini engelleyecek şekilde hareket ederler, bu da akımı ve buna bağlı olarak da verimi düşürür. Akımdaki bu değişimler güç devresindeki yüksek frekans trafosunun sekonder

devresine seri bağı bir akım trafosu ile algılanır. Bu akım trafosunun sekonderinde oluşan gerilimin değışimi (aslında örneklenen akımın şiddetini yansıtan değeri) devredeki mikrodnetleyicinin bu amaç için atanmış olan ADC pin girişine Şekil 4.12’de görülen basit bir zarf dedektörü ve RC alçak geçiren filtre devresinden geçirilerek uygulanır. Böylece akım trafosunun sekonderinden alınan ultrasonik frekanstaki düşük AC gerilim değeri zenerli sınırlama devresi ile 0-5V aralığını geçmeyecek şekilde DC olarak değışen bir gerilim değeri dönüşürülmüş olur. Daha sonra mikrodnetleyici ADC kanallarından biri tarafından bu değeri sayısal değeri dönüşürülür ve mikrodnetleyici tarafından değeriendirilebilir hale gelir. Çünkü mikrodnetleyici ADC girişleri 0-5V arası analog gerilimleri 10-bit çözünürlükle sayısal dönüşürebilmektedir. Negatif gerilim değerileriyle çalışmamaktadır. Böylece geri besleme yoluyla rezonans frekansındaki kaymalar gerilim karşılaştırılması yoluyla takip edilebilmiş olur. Bundan sonrası mikrodnetleyicide koşturulan ve bu amaç için yazılan özel otomatik rezonans frekansını yakalama algoritmasının işidir.



Şekil 4. 12: Geri besleme devresi

Rezonans frekansını otomatik olarak bularak sistemi bu frekansa göre çalıştırmak belki de bu projenin bel kemiğini teşkil ettiğinden, olay biraz detaylı olarak ele alınacaktır. Rezonans frekansı “Yakala” adlı alt programla bulunur.

Elde edilen örnekleme sinyalinde rezonans frekansına gelindiğinde gerilim değeri fark edilir bir belirginlikte tepe noktası oluşur. Amaç bu tepe noktasındaki frekansı bulmaktır. Fakat şebekeden veya çevre koşullarından kaynaklanabilen ani parazitik etkiler örnekleme anında gerilim değeri ani pikler meydana getirebilecektir. Bu

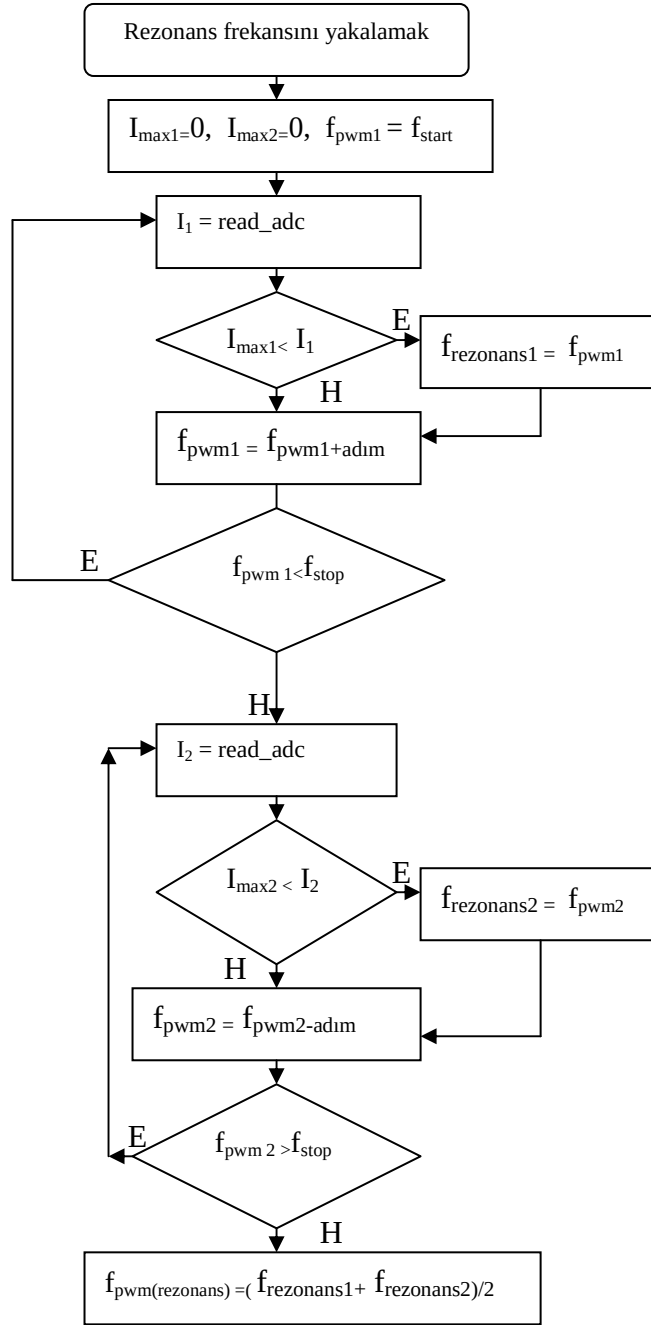
durumda yanlış bir frekans değerinde rezonans frekansı yakalanmış gibi işlem yapılma riski söz konusudur. Bu durum göz önünde bulundurularak, yanlışlık yapma ihtimalini ortadan kaldırmak için örnek sayısı fazla tutulur ve ortalama değere başvurulur. Bu zarftan 140 ms de 240 örnek alınarak bu örneklerin ortalaması alınır ve bir önceki ortalama ile karşılaştırılır eğer sonraki ortalama öncekinden büyük ise yeni rezonans frekansı en son ortalamanın alındığı frekans kabul edilir. Bulunan değer büyük değilse rezonans frekansı değiştirilmez ve rezonansın bulunması için verilen frekans aralığının taranmasına devam edilir. Taranma işlemi bittiğinde rezonans frekansı olarak bulunan değerle sistem çalışmaya devam eder. Bu 240 örnek 14 adet tam dalga şebeke gerilimi periyoduna eşittir. Toplam örnekleme süresi aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\begin{aligned}
 T_{pwm_kesme} &= (4 / f_{osilatör}) \times (PR2 + 1) \times (Timer2_bölme_oranı) \\
 &= (4 / 24000000) \times (218 + 1) \times (16) \\
 &= 0.584ms
 \end{aligned}$$

240 örnek alındığı için $0.584 \times 240 = 140ms$

Yukarıdaki hesaplamada “PR2” değişkeni mikrodenetleyicinin “PR2” ile temsil edilen saklayıcısındaki değeri temsil eder.

Tanktaki yükleme değiştikçe dönüştürücünün rezonans frekansı değişir. $F = m \times a$ (Newton’un II. Yasası) kanuna göre örneğin tanktaki yük arttıkça tankın titreşimi azalır. Yani dönüştürücünün frekansı düşer bu durumda PWM sinyalinin de frekansını düşürmek gereklidir. Bu çalışmada yazılan algoritma bu işlemi otomatik olarak gerçekleştirebilmektedir ve Şekil 4.13’te gösterilmiştir. Bu algorithmada baz alınan değişken değerinin geri besleme akım trafosundan örneklenerek alınan ve ADC tarafından dönüştürülen akım değeri olduğuna dikkat edilmelidir. Çünkü bu yöntemde akımın maksimum olduğu değere karşılık gelen o anki PWM frekansının değerinin yakalanan rezonans frekansı değerine eşit olduğu kabul edilmektedir.



Şekil 4.13: Rezonans frekansını yakalama algoritması

5. ÇALIŞMA MODLARI VE TEST SONUÇLARI

5.1 Çalışma Modları

5.1.1 Sabit frekansta çalışma

Tuşlarla arzu edilen güç, sıcaklık, çalışma zamanı ve frekans ayarı yapılır. Burada rezonans frekansında çalışılmadığı durumlarda çok iyi bir temizleme beklenilmemelidir. Fakat frekans ayarlayabilme avantajının olması ile duran dalgaların yeri değiştirilerek kontrol edilebilir bir yıkama profili elde edilebilir. Test amaçlı olarak yazılmış olan yıkama programlarından en sade olan yapıya bu çalışma modları sahiptir. Mod 0 (hafızadaki frekansta çalışır ve çalışma süresi ayarı yapılır) ve Mod 4 (hafızadaki zaman ayarı kullanılır ama manuel olarak frekans değeri değiştirilebilir) bu özelliğe sahiptir.

5.1.2 Belli bir frekansta frekans süpürmeli çalışma

Önceden set edilen bir frekansta belli zaman süreleri içinde frekansı çok küçük adımlarla artırıp azaltarak belirlenen frekansın etrafında dar bir aralıkta frekans süpürmesi gerçekleştirilir, böylece homojen bir güç dağılımı elde edilmeye çalışılır. Bir önceki moda göre süpürmeli çalıştığı için daha geliştirilmiş bir çalışma modudur. Aynı zamanda sistemin güç, sıcaklık, çalışma zamanı kontrolü burada da mevcuttur. Mod 1 ve Mod 5 bu özelliktedir. Mod 1’de hafızadaki frekans etrafında süpürme yapılır ve çalışma süresi ayarlanabilir. Mod 5’te de hafızadaki çalışma süresi kullanılır ama merkez frekans değeri ayarlanabilir.

5.1.3 Yakalanan rezonans frekansında çalışma

7 periyotluk (Şebeke gerilimi periyodu) süre içinde örnekleme akım trafosu yoluyla elde edilen ortalama akımın maksimum olduğu frekans değeri, özel bir algoritma yoluyla yakalanmaya çalışılır. Bölüm 4.5.7 de bu durum açıklanmıştır. Bu amaca yönelik olarak tanımlanan bir frekans aralığı baştan sona taranarak örneklenen ortalama akım değerinin maksimumdan geçtiği noktaya karşılık gelen rezonans

frekansında tarama işlemi durdurulur. Rezonans koşulu bulununca da sabit olarak bu frekansta çalışılır. Mod 2 (Güç süre ve ısı kontrolü yapılabilir) ile Mod 6 (güç, frekans ve sıcaklık kontrolü yapılabilir) bu özelliktedir.

5.1.4 Rezonans frekansında frekans süpürmeli çalışma

Bölüm 4.5.7 de anlatıldığı şekilde rezonans frekansı yakalanır ama bu sefer sabit bir frekansta değil de rezonans frekansı etrafında belli adımlarda frekans süpürmesi yapılarak daha homojen bir temizleme örüntüsü elde edilmeye çalışılır. Bu çalışma modunda süpürme dört ya da sekiz adımda ve farklı zaman aralıkları ile olabilir ve güç, sıcaklık, çalışma zamanı da yine tuşlarla kontrol edilebilir. Mod 7 ile Mod 10 ve Mod 21 arasındaki tüm modlar bu özelliktedir. Süpürme frekans adımları ve bu adımlardaki bekleme süreleri bakımından farklıdırlar. Bu durumlar Tablo 5.1 de listelenmiştir.

Tablo 5. 1: Frekans süpürmeli çalışma modları ve özellikleri

Çalışma Modu	Özellikleri
Mod-7	1 sn süre ile 8 adımda süpürmeli, güç süre ve ısı kontrollü
Mod-10	0.5 sn süre ile 8 adımda süpürmeli, güç süre ve ısı kontrollü
Mod-11	0.1 sn süre ile 8 adımda süpürmeli, güç süre ve ısı kontrollü
Mod-12	0.05 sn süre ile 8 adımda süpürmeli, güç süre ve ısı kontrollü
Mod-13	0.5 sn süre ile 4 adımda süpürmeli, güç süre ve ısı kontrollü
Mod-14	0.1 sn süre ile 4 adımda süpürmeli, güç süre ve ısı kontrollü
Mod-15	0.05 sn süre ile 4 adımda süpürmeli, güç süre ve ısı kontrollü
Mod-16	0.5 sn süre ile 8 adımda süpürmeli, güç, frekans ve ısı kontrollü
Mod-17	0.1 sn süre ile 8 adımda süpürmeli, güç, frekans ve ısı kontrollü
Mod-18	0.05 sn süre ile 8 adımda süpürmeli, güç, frekans ve ısı kontrollü
Mod-19	0.1 sn süre ile 4 adımda süpürmeli, güç, frekans ve ısı kontrollü
Mod-20	0.05 sn süre ile 4 adımda süpürmeli, güç, frekans ve ısı kontrollü
Mod-21	0.5 sn süre ile 4 adımda süpürmeli, güç, frekans ve ısı kontrollü

5.1.5 Gaz giderme(degas) programı (anahtarlamalı çalışma)

Mod 8 ve Mod 9 da anahtarlamalı çalışma yapılır. Yakalanan rezonans frekansında sabit frekanslı olarak 1 saniye çalış 1 sn dur şeklinde temizleme yaptırılır. Mod 8 de

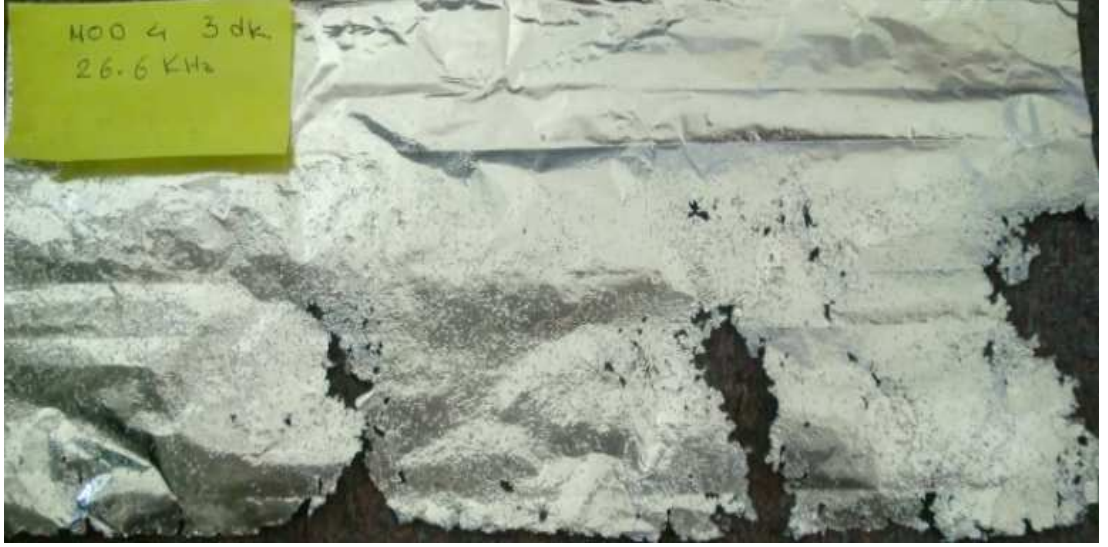
Çalışma süresi, g ve ısı kontrolü yapılırken, Mod 9 da g, frekans ve ısı kontrolleri yapılabilir. Bu alışma modlarının amacı temizleme sıvısındaki gazların giderilmesi için çalışmaya ara vermenin faydasını test etmektir. Piyasadaki bazı ürünlerde bu şekilde çalışan ultrasonik temizleme sistemlerinin de var olduğu tespit edilmiştir. Ancak tanktaki su yeterince dinlenmiş ise bu çalışma moduna gerek yoktur. Yapılan testler sonucunda sadece bu modda yapılan uzun süreli temizlemenin efektif olmadığı gözlenmiştir. Üretim yapılan sistemlerde düzenli olarak tank sıvısının yenilenmesi gerektiği durumlarda başlangıç için bir süre bu modda çalışmanın sıvıdan gazın daha çabuk dışarı atılmasına faydası olacaktır.

5.2 Folyo Testi ve nemi

Folyo testi ultrasonik tankın kabaca da olsa ne kadar güçte ve nasıl bir profilde yıkama yaptığını gösteren pratik bir yöntemdir. Tankın büyüklüğüne göre askı gibi bir malzemeye folyo bir ucundan kıvrılarak sarılır ve dikey olarak tanka daldırılır. 2-3 dakika bekledikten sonra çıkarılır. Folyonun tankta oluşan kavitasyon patlamaları sonucu aşındığı görülür. Bu aşınmaların folyo üzerindeki homojenliği ve derecesi tankın yıkama kalitesi için başvurulan yaygın test tekniklerindendir. Ucuz ve basit bir test yöntemidir.

5.3 Folyo Testi Sonuçları

şekil 5. 1' de Mod 4' e ait çalışma sonucu görülmektedir. Burada alışma frekansı rezonans frekansına ayarlanıp o değerde sabit çalıştırıldığından belli bölgelere yoğunlaşmış aşınmalar gözlenmiştir. Homojen bir temizleme olmamıştır. Diğer bölgelerin de aşınabilmesi için daha fazla sreye ihtiyaç vardır. Ancak bu durumda eğer temizlenecek olan obje hassas bir yzeyeye sahipse gücün şiddetli olduğu bölgelerde malzemeden aşınma meydana gelebilecektir. Ama g açısından olaya bakıldığında en güçlü yıkama bu modda olmuştur. Ancak eğer rezonans frekansından uzak bir frekans seçilirse bu kadar güçlü bir yıkama olmayacaktır.



Şekil 5. 1: Sabit frekansta çalışma

Şekil 5. 2' de Mod 5' e ait olan çalışmaya ait folyo testi sonucu görülmektedir. Burada Mod 4' deki frekansın aynısı ile çalışılmasına rağmen süpürmeli olduğu için benzer güçlü yıkama görülmemiş fakat yıkamanın çok daha homojen olarak dağıldığı gözlenmektedir. Yani frekans süpürmenin avantajı burada açıkça görülmektedir.

Şekil 5. 3' te Mod 7' nin çalışma sonucu görülmektedir. Burada rezonans frekansı otomatik olarak yakalanıp bu frekans civarında süpürmeli çalışma yapılmaktadır. Folyo testi sonucunda yine burada da homojen bir temizleme örüntüsünün varlığı gözlenmektedir. Ayrıca Mod 5' e göre daha güçlü yıkamanın varlığı da kenarlardaki kopmalardan anlaşılmaktadır. Ayrıca rezonans frekansının manuel olarak değil de otomatik olarak yakalanmış olmasının daha doğru ve etkili bir yöntem olduğu da anlaşılmaktadır.



Şekil 5. 2: Sabit frekansta süpürmeli çalışma



Şekil 5. 3: Belli frekans aralığında tarayarak rezonans frekansını bulma ve rezonans frekansını bulunca bu frekans civarında süpürmeli çalışma



Şekil 5. 4: Rezonans frekansı etrafında 8 adımda 0.5 sn aralıklarla süpürmeli çalışma



Şekil 5. 5: Rezonans frekansı etrafında 4 adımda 0.1sn aralıklarla süpürmeli çalışma



Şekil 5. 6: Rezonans frekansı etrafında 8 adımda 0.05sn aralıklarla süpürmeli çalışma

Mod 10, 14 ve 18 için alınan sonuçlar da sırasıyla Şekil 5. 4, 5. 5 ve 5 .6’ da gösterilmiştir. Buralarda da rezonans frekansını bulup rezonans frekansı etrafında süpürmeli çalışma olmaktadır. Ancak rezonanstan kaçıldığı anda tekrar rezonans frekansı bulunup işlem devam etmektedir. Bu üç modun sonuçları birbirlerine çok benzemekle birlikte en homojen yıkamanın mod 14 ve mod 18 de olduğu görülmektedir. Folyo testi sonuçlarına göre en verimli ve etkili modun mod 14 olduğu sonucuna varılmıştır. Mod 10 da ise alt köşede bir bölgede beklenmedik bir aşırı aşınma görülmüştür. Bunun da folyo geometrisindeki simetrisizlikten kaynaklanabileceği veya sıvının giderek testler sırasında bölgesel kirlenmesinden kaynaklanmış olabileceği düşünülmüştür. Kısacası bir ölçüm hatasıdır.

5.4 Test Düzeneği ve Ölçüm Sonuçları

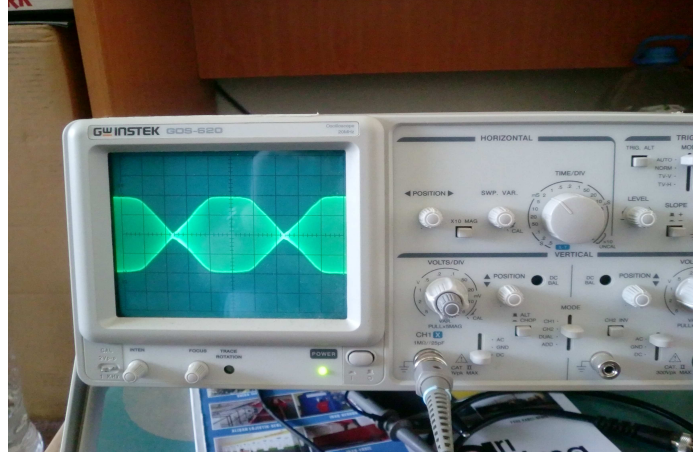
Şekil 5.7-5.12’ de prototip ultrasonik temizleme makinesinin test düzeneğine ait çeşitli fotoğraflar görülmektedir. Ölçüm probu özel bir yazılım aracılığı ile direkt temizleme sıvısı üzerinden bölgesel olarak gerilim, dalga şekli ve frekans ölçümü yapabilmektedir [13,15]. Test düzeneğinde dönüştürücülere giden yüksek gerilimli (800 Vpp) genlik modüleli 28 kHz lik sinüs işareti osiloskop ekranında görülmektedir. Benzer şekildeki modüleli ultrasonik frekanslı sinyal de ölçüm probu düzeneği ile Şekil 5.10 da görüldüğü gibi çalışma sırasında sıvı üzerinden direkt olarak alınabilmektedir.



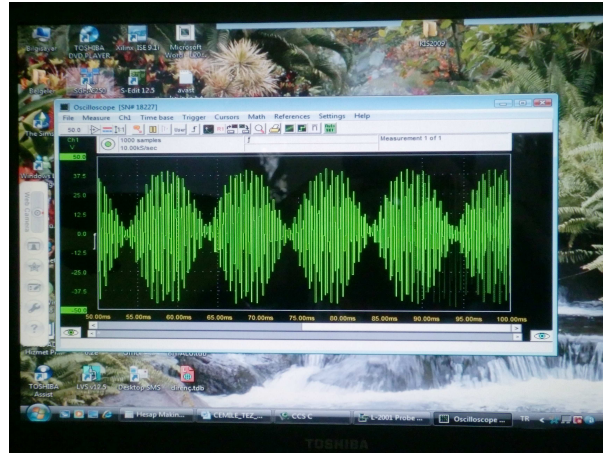
Şekil 5. 7: Ultrasonik Ölçüm Probu



Şekil 5. 8: Mikrodenetleyicili kontrol kartı ve güç devresi



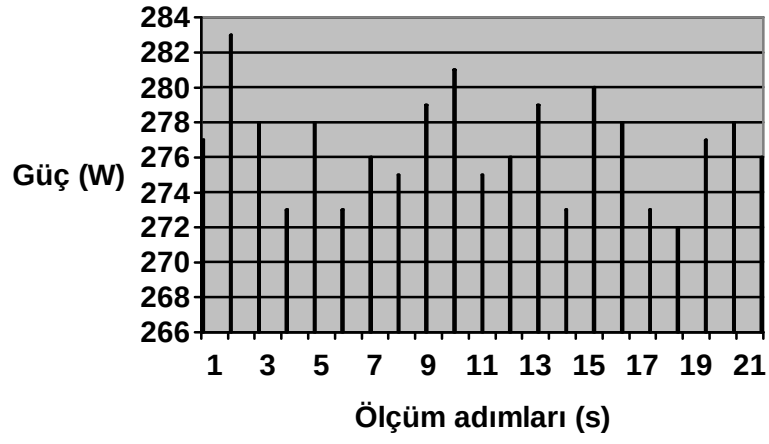
Şekil 5. 9: Temizleme tankı altına yapıştırılmış toplam 8 adetlik ultrasonik dönüştürücüye uygulanan elektriksel sinyalin osiloskop görüntüsü



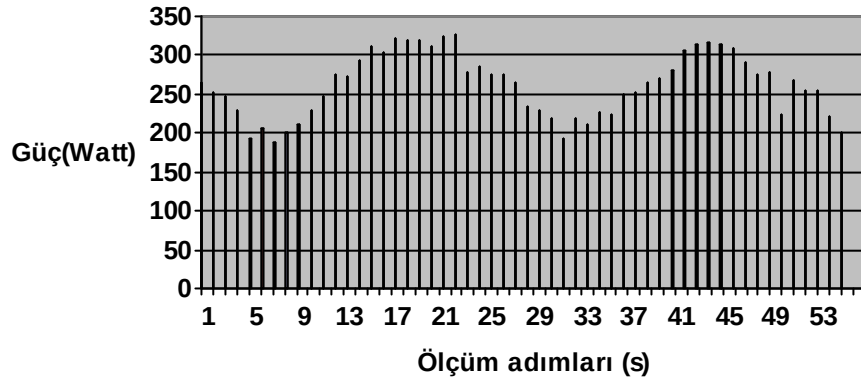
Şekil 5.10: Ölçüm probu yoluyla sıvı üzerinden gözlenen ultrasonik işaret



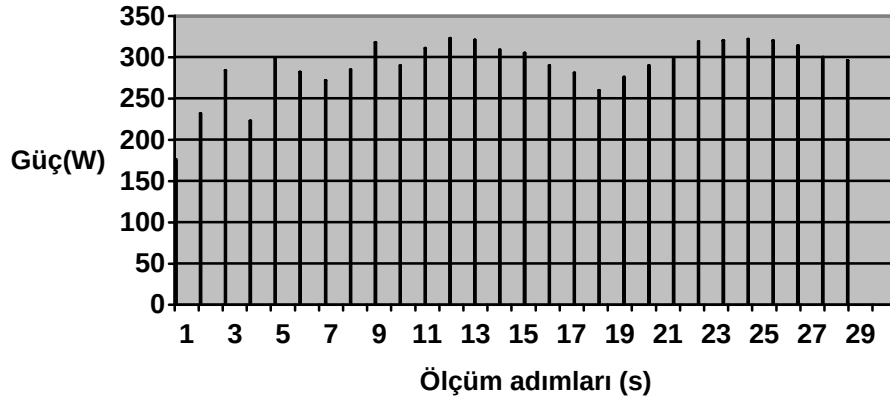
Şekil 5.11: Güç ölçümü için kullanılan Watmetre



Şekil 5.12: Mod 4 te çalışırken 1 saniyelik adımlarla ard arda watmetre üzerinden okunan güç değerleri değişimi



Şekil 5.13: Mod 5 te çalışırken 1 saniyelik adımlarla ard arda watmetre üzerinden okunan güç değerleri değişimi



Şekil 5.14: Mod 7 de çalışırken 1 saniyelik adımlarla ard arda watmetre üzerinden okunan güç değerleri değişimi

Şekil 5.12, 5.13 ve 5.14’ te gösterilen grafiklerde watmetre ekranından okunan ultrasonik dönüştürücülere aktarılan güç değerlerindeki değişimlere bakıldığında değişim aralığının en az olduğu mod doğal olarak frekansın sabit olduğu Mod-4’ de meydana gelmektedir. Frekans süpürmeli çalışma programlarından biri olan Mod-7’ de ise değişim aralığı 200 Watt ile 350 Watt arasındadır. Rezonans frekansından kaçıldığında temizleme gücünde değişme olduğu bu grafiklerden de açıkça anlaşılmaktadır. Bu yüzden de temizleme gücü, frekans süpürmeli modlarda daha azdır denilebilir, ama homojen bir temizlik için bu metot tercih edilmelidir. Gücün yüksek olması her zaman efektif bir temizlik yapılması anlamına gelmez.

BÖLÜM 6. MULTIFREKANS ÇALIŞMA MODU

Ultrasonik yardımıyla temizlemede tek frekans kullanımında, kabarcıkların hemen aynı boyutta oluşması nedeniyle seçilen frekansın parça yüzeyinden koparacağı partikül boyutuna etkisi önemlidir. Düşük frekanslı ultrasonik dalgalar büyük partikülleri koparabilirken, yüksek frekanslı ultrasonik dalgalar daha küçük parçacıkları koparabilmekte ve daha dar aralıklara nüfuz edebilmektedir. Uygulamada kaba temizleme düşük frekanslı ultrasonik dalgalarla gerçekleştirilirken, ince temizleme işlemleri ve hassas yüzeylerin temizlenmesi yüksek frekanslı ultrasonik dalgalarla gerçekleştirilmektedir.

Genelde kaba ve hassas temizleme ayrı tanklarda gerçekleştirilirken özellikle maliyetin kısıtlayıcı olduğu durumlarda aynı tank üzerinde alçak ve yüksek frekanslı ultrasonik dalga uygulaması tercih edilmektedir. Aynı tank üzerinde birden fazla frekans uygulaması durumunda ise yine iki tercih söz konusudur. Ya farklı frekanslar için farklı ultrasonik dönüştürücüler temizleme tankı tabanına uygun şekilde dağıtılarak her dönüştürücü grubu farklı frekanslarla sürülmekte ya da aynı frekansta çalışan dönüştürücüler temel rezonans frekansında ve harmoniklerinde çalıştırılmaktadır. Birinci tercihte kullanılan dönüştürücü sayısı ve gerekli sürücü devre sayısı maliyeti olumsuz etkilemektedir. İkinci tercihte ise maliyet düşük olmakla birlikte yıkama performansı özellikle harmonik frekanslar için düşük olmaktadır. Ancak birinci tercih için uygulama yaklaşımı çok basittir. Temizleme işleminde 1. ve 2. frekanslar için farklı dönüştürücü grubu ve sürücü grubu isteğe bağlı olarak eşzamanlı veya sıralı şekilde çalıştırılır. İkinci tercihte ise temel frekans için ve harmonik frekans için temizleme gücünün maksimum olduğu frekans değerlerinin tespit edilmesi ve aynı sürücü devrenin frekans atlamalarında uygun rezonans elemanları ile çalıştırılması gerekmektedir. Özellikle mikrodenetleyicili uygulama birincil ve ikincil harmoniklerin otomatik tespiti ve daha sonra otomatik olarak tespit edilen rezonans frekansı etrafında kontrollü olarak frekans süpürme tekniğine imkan tanımaktadır. Üzerinde çalışılan projenin de avantajlı olduğu nokta bu aşamada ortaya çıkmaktadır. Mikrodenetleyici kullanılarak, PWM üreticinin

Çalışma frekansı, alınan geri besleme işaretine bağlı olarak bir program çerçevesinde otomatik değiştirilebilmektedir. Bu esnada güç devresi üzerinde rezonansı etkileyen bazı elemanların anahtarlanması da tavsiye edilir. Bu amaç için programa anahtarlama amaçlı role kontrol yazılımını ilave edilmelidir. Ancak frekansın dar bir band aralığında taranması ile çalışan çoklu frekans özellikli yıkama makineleri için bu anahtarlama devrelerine gerek yoktur. Bu çalışmada, set edilen bir frekans etrafında dar bir frekans bandı aralığında süpürme yapabilen veya tuş takımı yardımıyla çalışma modları arası geçiş yapılarak istenildiği zamanda, istenilen süreyle, 20-45 kHz arasında istenilen frekansta yıkama yapabilen türde çok frekanslı bir ultrasonik temizleme makinesi tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Ultrasonik dönüştürücülerin çalışma frekansları kullanılan malzemenin yapısına ve mekanik olarak kesim özelliklerine ve piezo seramik disklerin sıkıştırılması esnasında kullanılan sıkıştırma kuvvetine bağlıdır. Rezonans frekansının otomatik bulunması ihtiyaı hem dönüştürücü rezonans frekanslarının farklı olabilmesi hem de tank içerisine sıvı ve temizlenecek malzemeler dizildiğine toplam sistemin rezonans frekansında kaymalar olmasından ortaya çıkmaktadır. Proje kapsamında gerçekleştirilen multi frekans ultrasonik temizleme yaklaşımında öncelikle deneysel olarak tespit edilen başlangıç frekansı etrafında sistemin en yüksek temizleme gücü ürettiği toplam rezonans frekansının otomatik olarak bulunması prensibi kullanılmıştır.

BÖLÜM 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma Everest Elektromekanik San. Tic. Ltd. Şti. ile Sanayi ve Ticaret Bakanlığı destekli 126STZ2007-02 sayılı SANTEZ projesi kapsamında desteklenmiştir. Proje çıktısı olarak Everest Elektromekanik San. Tic. Ltd. Şti. tarafından yurt içi ve yurt dışı pazarlarda satışa sunulabilecek mikrodenetleyici tabanlı çoklu frekans özellikli ultrasonik bir temizleme makinesinin prototipi gerçekleştirilmiş oldu.

Projede mekanik tasarım ve montaj ile saha testleri konusunda altyapı desteği proje ortağı olan kuruluş tarafından sağlanmıştır. Proje kapsamında geliştirilen ultrasonik yıkama makinesi prototipi teknik özellikleri aşağıdaki gibidir:

1. Frekans ve güç değişimi kontrolü
2. 25/45 KHz aralığında seçilen veya otomatik olarak algılanabilen bir rezonans frekansı civarında frekans süpürmeli olarak çalışabilme
3. Yazılıma ve güç devresine yapılacak küçük ilaveler ile 2 farklı frekansta istenilen sürelerle anahtarlama olarak çalışabilme
Özel durumlar için talep edilmesi halinde 2 farklı frekansta istenilen sürelerle anahtarlama olarak çalışabilme gerçekleştirilebilir. Normalde kullanıcı temizleme frekanslarından birini seçerek istenen sürede temizleme gerçekleştirilmektedir.
4. Endüstriyel veya laboratuvar tipi (masa üstü) modellere kolaylıkla adapte edilebilir olması
5. Elektronik sarf malzemeleri hariç tamamı ile yerli teknoloji kullanılarak gerçekleştirilebilir olması (Ultrasonik dönüştürücüler dahil)
6. Temizleme sıvısı ısı kontrolü

İleriye yönelik bir çalışma olarak, mikrodenetleyici tabanlı çözüm yerine FPGA tabanlı bir çözüm tercih edildiğinde iki önemli avantaj elde edilmiş olacaktır. Bunlardan birincisi frekans kontrol adımı için çok daha küçük değerleri yakalamak mümkün olabilecektir. Örneğin 100'er Hz lik adımlar yerine 5'er Hz' lik frekans

adımlarıyla frekans kontrolü yapılabilecektir. Çünkü FPGA lerde çalışma saat frekansları 500-600 MHz' lere ulaşmaktadır. Piyasada bulunan mikrodenetleyiciler ile bu mümkün olamamaktadır.

Ayrıca FPGA' lerin en önemli avantajlarından biri olan, üzerinde tamamen paralel olarak koşturulabilecek birden çok algoritmanın donanımsal olarak gerçekleşmesini mümkün kılan özellikleri sayesinde, temizleme tankı altına değişik lokasyonlarda guruplanarak yerleştirilmiş ultrasonik dönüştürücüleri farklı güç ve zamanlama değerlerinde eşzamanlı olarak sürebilmek mümkün olacaktır. Bunun amacı sıvı içerisinde duran dalga lokasyonlarının çok değişik senaryolarla yerlerinin değiştirilebilmesidir. Böylece temizleme örüntüsünün kontrolü sağlanmış olacaktır. Ulusal veya uluslararası pazarda böyle bir ürün mevcut değildir. Bu proje çalışmasında görev alan proje ekibi bu tez ve proje çalışmasının devamı olarak böyle bir temizleme makinesinin tasarımı ve prototipini yeni bir SANTEZ projesi kapsamında gerçekleştirmeyi hedeflemektedir.

KAYNAKLAR

- [1] <http://www.Blackstone-ney.com> (**Ziyaret tarihi: 02.06.2008**)
- [2] Fencil, R. C., Hollerith, B., “ The Advantages of Ultrasonic Cleaning as a Production Tool”, *IEEE Transactions on Ultrasonic Engineering*, 71-74, (1963)
- [3] <http://www.cmeag.us/articles.asp?pid=388> (**Ziyaret tarihi:02.06.2008**)
- [4] Nagarajan, R., Diwan, M., Avasthi, P., Shukla, A., Sharma, P., Goodson, M., Awad, S., “Optimization of Ultrasonic Cleaning for Erosion-Sensitive Microelectronic Components” , *2006 IEEE/SEMI Advanced Semiconductor Manufacturing Conference*, 233-237, (2006).
- [5] David, J., Cheeke, N., “Fundamentals and Applications of Ultrasonic Waves”, *CRC Press*, (2002).
- [6] Ensminger, D., “Ultrasonics: Fundamentals, Technology, Applications”, *Marcel Dekker*, (1998).
- [7] Kocis, S., Figura, Z., “Ultrasonic Measurements and Technologies”, *Chapman&Hall Ister cience Limited Translation*, (1996).
- [8] Ramon Palas-Areny, John G. Webster “Sensors and signal conditioning”
- [9] Hatano, H., Kanai, S., “High-Frequency Ultrasonic Cleaning Tank Utilizing Oblique Incidence” *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control*, 43(4), (1996).
- [10] <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/Hbase/tables/soundv.html#c1> (**Ziyaret Tarihi: 20.04.2009**)
- [11] <http://www.kks-ultraschall.ch/DUAL-Frequency-Ultrasonic> (**Ziyaret Tarihi: 1.05.2009**)
- [12] Ay, İ., Anaç, N., “Ultrasonik Yöntemle Parça Temizleme” *Balıkesir Üniversitesi, IV. Mühendislik-Mimarlık Sempozyumu*, 229-241, (2002).
- [13] http://www.tmasc.com/ultrasonic_cleaning_process.htm (**Ziyaret Tarihi: 1.05.2008**)
- [14] http://www.bransoncleaning.com/ultrasonic_technology.asp (**Ziyaret Tarihi:15.04.2008**)

- [15] Lewis, J. P., Gardner, S., 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**, 699-702, (2005).
- [16] Khmelev, V. N., Barsukov, R. V., Tsyganok, S. N., Slivin, A. N., Levin, S. V., “The Device of Ultrasonic Cleaning of Automobile Injectors”, **4th Siberian Russian Workshop and Tutorials EDM’2003**, III, (2003).
- [17] Papadakis, E. P., “Ultrasonic Instruments and Devices”, **Academic Press**, (2000).
- [18] Arnau, A., “Piezoelectric Transducers and Applications”, **Springer Verlag**, (2008).
- [19] Kanesberg, B., Kanesberg, E., “Parameters in Ultrasonic Cleaning for Implants and Other Critical Devices” **Journal of ASTM International(JAI)**, Vol.3 (4), (2006).
- [20] <http://www.bluewaveinc.com/reprint.htm> (**Ziyaret Tarihi: 20.05.2008**)
- [21] <http://www.natclo.com/dp/ultra.html> (**Ziyaret Tarihi: 10.04.2008**)
- [22]http://www1.gantep.edu.tr/~olgar/umut_demirkol_Behaviors%20of%20waves.pdf (**Ziyaret Tarihi: 15.05.2009**)
- [23] Microchip Ürün Kataloğu, www.microchip.com
- [24] Buasri, C. 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**, 1005 – 1008, (2008).
- [25] Ishikawa, J. Mizutani, Y. Suzuki, T. Ikeda, H. Yoshida, H., “High-frequency drive-power and frequency control for ultrasonic transducer operating at 3 MHz”, **Industry Applications Conference, 32. IAS Annual Meeting, IAS '97**, 2, 900 – 905, (1997).
- [26] Fabijanski, P. Lagoda, R., “Series resonant converter with sandwich-type piezoelectric ceramic transducers”, **Proceedings of The IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT '96)**, 252 – 256, (1996).
- [27] Svilainis, L., Motiejunas, G., “Power amplifier fr ultrasonic transducer excitation” **ULTRAGARSAS**, 1(58), 30-36, (2006).

ÖZGEÇMİŞ

1966 yılında Ordu’ da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Ordu’ da tamamladı. 1985 yılında girdiği Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü’nden 1991 yılında Elektrik-Elektronik Mühendisi olarak mezun oldu. Bir dönem ortaöğretim kurumlarında sözleşmeli bilgisayar ve İngilizce öğretmenliği görevlerinde bulundu. Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans öğrenimine devam etmektedir. MİLETS San. Tic. Ltd. Şti. bünyesinde proje mühendisi olarak çalışmakta olup, evli ve 3 çocuk annesidir.