T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

# ULTRASON SİSTEMLERİ İÇİN YÜKSEK HIZLI ANALOG ÖN-UÇ DEVRE TASARIMI

Alp ÖZAL

DANIŞMAN
Doç. Dr. Koray GÜRKAN

Elektrik- Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Tezli Yüksek Lisans Programı

Mayıs, 2024

# TEZ KABUL VE ONAYI

**Alp ÖZAL** tarafından, **Doç. Dr. Koray GÜRKAN** danışmanlığında hazırlanan **"ULTRASON SİSTEMLERİ İÇİN YÜKSEK HIZLI ANALOG ÖN-UÇ DEVRE TASARIMI"** başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından **10/07/2024** tarihinde yapılan sınav sonucunda **oy birliği** ile başarılı bulunarak **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

**Tez Jürisi**

| | | **İmza** | **Sonuç** |
|---|---|---|---|
| **DANIŞMAN** | Doç. Dr. Koray GÜRKAN<br>İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa<br>Elektrik-Elektronik Mühendisliği<br>Anabilim Dalı | | ☒ Kabul<br>☐ Ret |
| **ÜYE** | Doç. Dr. Erkan ATMACA<br>İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa<br>Elektrik-Elektronik Mühendisliği<br>Anabilim Dalı | | ☒ Kabul<br>☐ Ret |
| **ÜYE** | Dr. Öğr. Üyesi Fatih ADIGÜZEL<br>Yıldız Teknik Üniversitesi<br>Kontrol ve Otomasyon<br>Mühendisliği Anabilim Dalı | | ☒ Kabul<br>☐ Ret |

# BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve bilimsel etik kuralları içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını ve her türlü hukuki sorumluluğu aldığımı kabul ederim.

Alp ÖZAL

Çok değerli eşim Beyza ÖZAL'a, aileme ve danışman hocam Doç. Dr. Koray GÜRKAN'a ithaf ediyorum…

# BÜTÇE DESTEKLERİ

## ULTRASON SİSTEMLERİ İÇİN YÜKSEK HIZLI ANALOG ÖN-UÇ DEVRE TASARIMI

Bu tez çalışması için herhangi bir kurumdan bütçe desteği alınmamıştır.

# TEŞEKKÜR

Eğitim ve öğretim hayatım boyunca edindiğim tüm bilgi ve deneyimlerimde katkısı olan ve emeği geçen İTO Vakfı Süleyman Taştekin Anadolu Teknik Lisesi öğretmenlerinden Mesut SAVAŞ ve Sebahi SAYLIK (rahmetli) hocalarıma, Ege Üniversitesi Ege MYO akademisyenlerinden Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Berkant SELEK ve Dr. Öğr. Üyesi Seyhan COŞKUN hocamalarıma ve İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa öğretim üyesi Doç. Dr. Koray GÜRKAN'a teşekkürü borç bilirim.

Mayıs 2024 Alp ÖZAL

# İÇİNDEKİLER


| | Sayfa No |
|---|---|
| **TEZ KABUL VE ONAYI** | **ii** |
| **BEYAN** | **iii** |
| **BÜTÇE DESTEKLERİ** | **v** |
| **TEŞEKKÜR** | **vi** |
| **İÇİNDEKİLER** | **vii** |
| **ŞEKİL LİSTESİ** | **ix** |
| **TABLO LİSTESİ** | **xi** |
| **SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ** | **xii** |
| **ÖZET** | **xiv** |
| **ABSTRACT** | **xvi** |
| **1. GİRİŞ** | **1** |
| **2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE** | **4** |
| 2.1. AFE | 4 |
| 2.2. HV Üreteci | 5 |
| 2.3. HV Pulser | 6 |
| **3. YÖNTEM** | **7** |
| 3.1. Güç Katı | 7 |
| 3.2. Güç Katı Tasarımında Kullanılan ve Dikkat Edilen Yöntemler | 10 |
| 3.3. AFE Seçimi ve Tasarımı | 12 |
| 3.4. AFE Tasarımında Kullanılan ve Dikkat Edilen Yöntemler | 16 |
| 3.5. HV Seçimi ve Tasarımı | 17 |
| 3.6. HV Tasarımında Kullanılan ve Dikkat Edilen Yöntemler | 18 |
| 3.7. HV Pulser | 19 |
| 3.8. HV Pulser'de Kullanılan ve Dikkat Edilen Yöntemler | 20 |
| **4. BULGULAR** | **22** |
| 4.1. Güç Katındaki DC/DC Dönüştürücülerin Simülasyonu | 23 |
| 4.1.1. 5V DC/DC Dönüştürücü İçin Analiz | 23 |
| 4.1.2. 3.3V DC/DC Dönüştürücü İçin Analiz | 25 |

4.1.3. 3V DC/DC Dönüştürücü İçin Analiz 26
4.1.4. 1.8V DC/DC Dönüştürücü İçin Analiz 28
**5. TARTIŞMA 30**
**6. SONUÇ VE ÖNERİLER 32**
**KAYNAKLAR 34**
**EKLER 36**
**İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI 50**
**ETİK KURUL İZİN YAZISI 51**
**KURUM İZNİ YAZILARI 52**
**ÖZGEÇMİŞ 53**

# ŞEKİL LİSTESİ

**Sayfa No**


Şekil 1: Ultrason Sistemi Genel Mimarisi 1

Şekil 2: LTC4231CMS Ters Polarma, Yüksek ve Alçak Gerilim Koruması Şematik 8

Şekil 3: LM2596 12V DC/DC Dönüştürücü Şematik 8

Şekil 4: ADP2302ARDZ-5.0-R7 5V DC/DC Dönüştürücü Şematik 8

Şekil 5: ADP2302ARDZ-3.3-R7 3.3V DC/DC Dönüştürücü Şematik 9

Şekil 6: ADP2302ARDZ 3V DC/DC Dönüştürücü Şematik 9

Şekil 7: ADP2302ARDZ 1.8V DC/DC Dönüştürücü 9

Şekil 8: LT1054 -5V Evirici Şematik 10

Şekil 9: PCB'nin Güç Katını İçeren Bölümü 10

Şekil 10: Mean Well IRM30-24 11

Şekil 11: Meydana Gelebilecek Ripple ve Regüle Edilmesi 12

Şekil 12: 1.8V DC Çıkış PCB Yerleşim 12

Şekil 13: 1.8V DC Çıkış PCB Çizim 12

Şekil 14: AD9272 Genel Şematik 13

Şekil 15: AD8138 Şematik 14

Şekil 16: PCB'nin Kazanç Ayarını İçeren Bölümü 14

Şekil 17: AD9515 Şematik 15

Şekil 18: PCB'nin Clock Frekansını İçeren Bölümü 15

Şekil 19: AD9272 Kanal Yapısı 16

Şekil 20: 1 Kanalın Transdüser ile Olan Arayüzünün İçi 16

Şekil 21: HV9150 Yüksek Gerilim Üreteci Şematik 18

Şekil 22: PCB’nin HV9150 Yüksek Gerilim Üretecini İçeren Kısmı 18

Şekil 23: TX7516 Şematik 19

Şekil 24: PCB'nin TX7516'yı İçeren Kısmı 20

Şekil 25: ADP2301 ile 5V DC/DC Dönüştürücü Analiz Şematiği 24

Şekil 26: ADP2301 ile 5V DC/DC Dönüştürücü Analiz Grafiği 24

Şekil 27: ADP2301 ile 3.3V DC/DC Dönüştürücü Analiz Şematiği 25

Şekil 28: ADP2301 ile 3.3V DC/DC Dönüştürücü Analiz Grafiği 26

Şekil 29: ADP2301 ile 3V DC/DC Dönüştürücü Analiz Şematiği 27

Şekil 30: ADP2301 ile 3V DC/DC Dönüştürücü Analiz Grafiği 28

Şekil 31: ADP2301 ile 1.8V DC/DC Dönüştürücü Analiz Şematiği 29

Şekil 32: ADP2301 ile 1.8V DC/DC Dönüştürücü Analiz Grafiği 29

# TABLO LİSTESİ

**Sayfa No**

Tablo 1: Ultrason Görüntüleme Sistemi Çalışmalarında Kullanılan AFE'ler 4

Tablo 2: AFE'lerin Dahili Özelliklerinin Karşılaştırması 5

# SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

**Simgeler** **Açıklama**

**D** : Görev Döngüsü
**R** : Direnç
$\mathbf{V_i}$ : Giriş Voltajı
$\mathbf{V_o}$ : Çıkış Voltajı
**L** : Endüktans
$\mathbf{f_{GATE}}$ : Sürücü Anahtarlama Frekansı
$\mathbf{I_{PEAK}}$ : Bobinin Doyma Akımı

**Kısaltmalar** **Açıklama**

**AFE** : Analog Ön Uç
**TGC** : Zaman Kazanç Telafisi
**HV** : Yüksek Voltaj
**ADC** : Analog Dijital Dönüştürücü
**VGA** : Ayarlanabilir Kazanç Yükselteci
**LVDS** : Düşük Voltajlı Diferansiyel Sinyalleme
**FPGA** : Alanda Programlanabilir Kapı Dizisi
**LNA** : Düşük Gürültülü Yükseltici
**PCB** : Baskı Devreli Kart
**RF** : Radyo Frekans
**DC** : Doğru Akım
**HV Pulser** : Yüksek Gerilim Darbe Tetikleyicisi
**RX** : Alıcı İletim Hattı
**TX** : Gönderici İletim Hattı
**Clock Frekans** : Çiplerin Çalışması için Gerekli Olan Saat Hızı
**SMD** : Yüzey Montajlı Bileşen
**THT** : Delikli Montaj Teknolojisi
**BOM** : Malzeme Listesi

# ÖZET

## YÜKSEK LİSANS TEZİ

### ULTRASON SİSTEMLERİ İÇİN YÜKSEK HIZLI ANALOG ÖN-UÇ DEVRE TASARIMI

**Alp ÖZAL**

**İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa**

**Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**

**Elektrik- Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Tezli Yüksek Lisans Programı**

**Danışman : Doç. Dr. Koray GÜRKAN**

Ultrason, hastalıkların tanısının konulabilmesi, tespit edilebilmesi için kullanılan en önemli ve vazgeçilmez görüntüleme teknolojilerinden birisidir. Son yıllarda elektronikteki ilerlemeler, sensör teknolojisinin ilerlemesi ve sinyal işlemedeki yeni çözümler bu alandaki donanım geliştirmelerinin devam etmesini sağlamıştır.

Ses dalgalarının farklı yoğunluklardaki dokulardan ilerlerken, farklı hızlarda ilerlediği ve yansımaya maruz kaldığı bilinmektedir. Bundan yola çıkarak içerisinde yüksek frekanslı bir piezoelektrik malzeme bulunan prob aracılığı ile ses dalgaları gönderilerek, bu ses dalgalarının alıcı ve vericilerinin yüksek gerilim üreteci ile birlikte bir pulser yardımıyla tetiklendiği, tetiklenen ve farklı yoğunluktan geçen ses dalgalarının da kazançlarının bir zaman kazanç telafisinden geçirilerek kompanze edildiği, en sonunda da yüksek hızlı örneklenerek sayısal işleme birimine iletilen bir Analog Ön-Uç devre tasarımı yapılması amaçlanmıştır. Günümüzde elektronik donanımların hızları git gide artmaktadır. Bu çalışmada en güncel donanım versiyonları ile bu donanımın tasarım çalışması yapılmıştır.

Mayıs 2024 , 70 sayfa.

**Anahtar kelimeler:** Ultrason, Medikal Ultrason, Analog Ön-Uç, Piezoelektrik, Zaman Kazanç Telafisi, Yüksek Gerilim Sinyal Üreteci

# ABSTRACT

## M.Sc. THESIS

### HIGH SPEED ANALOG FRONT-END CIRCUIT DESIGN FOR ULTRASOUND SYSTEMS

**Alp ÖZAL**

**Istanbul University-Cerrahpaşa**

**Institute of Graduate Studies**

**Department of Electrical and Electronics Engineering**

**Electrical and Electronics Engineering, Master Sc. Thesis**

**Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Koray GÜRKAN**

Ultrasound is one of the most important and indispensable imaging technologies used to diagnose and detect diseases. In recent years, advances in electronics, advancements in sensor technology and new solutions in signal processing have enabled hardware developments in this field to continue. It is known that sound waves travel at different speeds and are subject to reflection as they travel through tissues of different densities. Based on this, sound waves are sent through a probe containing a high-frequency piezoelectric material, the receivers and transmitters of these sound waves are triggered with the help of a pulser together with a high voltage generator, and the gains of the triggered sound waves passing through different intensities are compensated by passing a time gain compensation, Finally, it is aimed to design an Analog Front-End circuit that is sampled at high speed and transmitted to the digital processing unit. Nowadays, the speed of electronic equipment is increasing. In this study, the design of this hardware was carried out with the most up-to-date hardware versions.

May 2024, 70 pages.

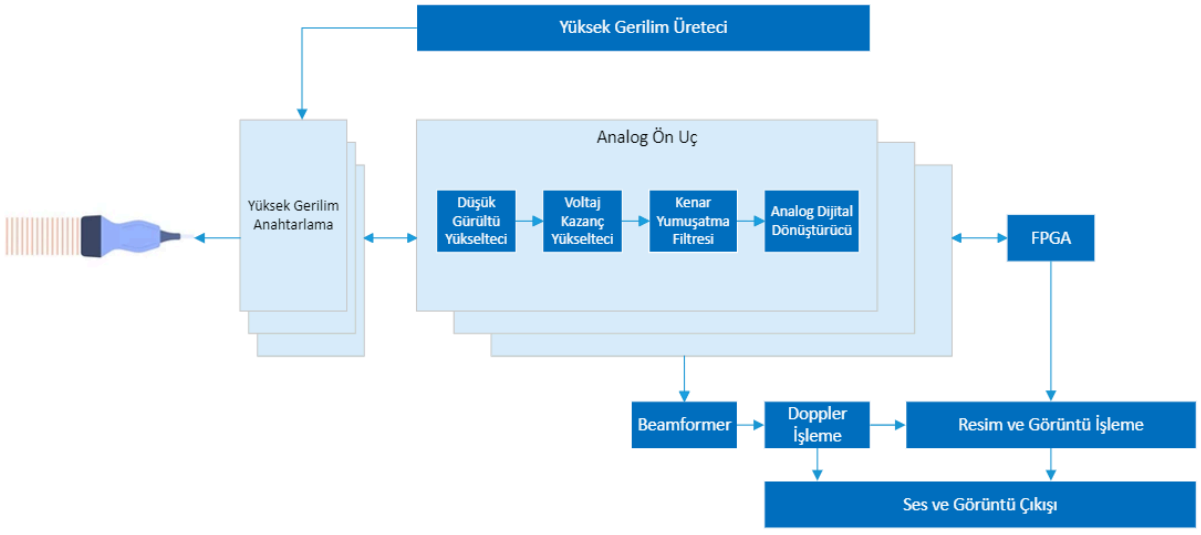
**Keywords:** Ultrasound, Medical Ultrasound, Analog Front-End, Piezoelectric, Gain Compensation, High Voltage Signal Generator

# 1. GİRİŞ

Günümüzde birçok hastalığın teşhisi ve tespitinde çeşitli görüntüleme sistemleri kullanılmaktadır. Bunlardan en yaygın olanı ultrason cihazıdır. Ultason cihazı bir prob aracılığıyla içerisinde bulunan piezoelektrik transdüserlerin elektrik sinyalini ses dalgasına çevirmek sureti ile canlı dokusuna gönderildiği ve bu dokulardan geri yansıyan ses dalgalarının tekrar elektrik sinyaline dönüştürülerek bir donanım birimi tarafından işlenip görüntülenmesini sağlayan bir ekipmandır.

Ultrason cihazı tıbbi amaçlı hastalıkların teşhisi ve tanısında en çok kullanılan cihazlardan birisi olduğu gibi az bilinen ama çok yaygın olarak da sanayide kullanılmaktadır. Akışkan ve borulama sistemlerinde, sızdırmaklık gerektiren uygulamalarda mikro boyuttaki çatlakların tespitinde çok yaygın olarak kullanılmaktadır.

Tıbbı amaçlı teşhislerde kullanılan ve 2D görüntüleme elde edilen ultrason cihazlarının donanımlarının içerisinde piezoeletrik sensör, TGC, HV sinyal üreteci, HV Pulser, ADC ve işlemci gibi komponentlerin ayrı ayrı kullanılarak bir araya getirildiği donanımlar veya bu komponentlerin birkaç tanesini dahili olarak bir arada bulunduran AFE'ler kullanılarak yapılan bir çok çalışma bulunmaktadır. Mevcut çalışmada HV Pulser, TGC, ADC ve AFE'ler için önerilen donanımların bulunduğu en güncel komponentler seçilmiştir. Ayrıca bu çalışma içerisinde yapılan analog tasarım ve devre şeması, aşağıda ultrason sisteminin genel mimarisini içeren blok diyagramdaki gösterimde mavi olarak renklendirilmiştir.




**Şekil 1: Ultrason Sistemi Genel Mimarisi**

Bu cihazları hastane, veteriner, klinik ve sanayi firmaları gibi yerlerde kullanan kullanıcılardan alınan geri dönüşler doğrultusunda ve yapılan araştırmalarda, ultrason cihazlarının belirli periyotlarla bakıma alınması ya da mecburi olarak yıpranma adı altında değişmesi gerektiği bilgilerine ulaşılmıştır [1]. Ayrıca bu çalışma incelendiğinde sağlık sektöründeki satın alma uzmanlarının hastane içerisinde kullanılan ekipmanların ihtiyaca göre belirlenmesi ve satın alımlarının yapılabilmesi için ömür devrine dayalı bir planlama yaptıkları görülmektedir. Bu çerçevede hastane, veteriner ve kliniklerde ülke çapında oldukça fazla sayıda olduğu görülmekte olan ultrason cihazlarının temini yurtdışı kaynaklardan sağlanmaktadır. "901812" GTİP kodlu ultrasonik tetkik cihazı hakkında yapılan dış piyasa araştırmasında dünya ithalat rakamı 2020 yılında yaklaşık 5.2 milyar USD'dir. Bu çalışmayı Samsun ili taşınabilir ultrason cihazı imalatı ön fizibilite raporunda görebileceğimiz gibi [1], bu raporun içerisindeki ekonomik analizde yer alan bilgilerde Türkiye'nin bu pazarda %0.1 seviyesi ile 29. Sırada yer aldığı görülmektedir. Buradan da bu cihazın millileştirilmesi ve yerlileştirilmesi, hem ithal ettiğimiz rakamların ülke içerisinde kalmasını sağlayacak olup hem de dünya pazarındaki ithalat yüzdelerinde çok daha yüksek dilimlerde yer almasının bir adımı olacaktır.

Ayrıca bu çalışmanın yapımında çok sık bahsedilecek birkaç terim bulunmaktadır. Aşağıdaki tanımlarda bunların ne olduğu tanımlanmıştır.

AFE: Elektronik devrelerde esnek bir çalışma sunabilmek için birden fazla fonksiyonun tek bir blok içerisinde hassas yükselteçler ile sunulduğu filtreler, amplifikatörler gibi yapılardan oluş tümleşik bir devredir. Bu tez çalışmasının kapsamı olan ultrason konusunda ise VGA, AAF , LNA gibi yapıların içerisinde bulunduğu bir çipi temsil etmektedir.

HV Pulser: Yüksek gerilim üretildikten sonra bu gerilimin AFE çıkışları üzerinden kontrolü sağlanacak bir şekilde çok kanallı bir piezoelektrik transdüserin sürülmesini yani anahtarlama görevini sağlayan yapıdır.

VGA: Değişen kazançlı yükselteçler giriş sinyalinin kazancını ayarlanarak değiştirebilen yapıda bir yükselteçtir. Bu tarz yapılarda bu değişken kazanç ayarı bir kontrol voltajı ile gerçekleştirilir. İletilen sinyaller mesafeye bağlı olarak belli bir kayıplara uğrayabilirler. Ultrason sisteminde ise temel olarak prob aracılığı ile gönderilen ses dalgasından proba geri yansıyan ses dalgalarına bakılarak 2D görüntüleme işlemi yapılmaktadır. Burada ses dalgaları

görüntüleme yapılan canlı üzerinde ilerlerken nitelikleri birbirinden farklı dokulardan geçer. Burada zayıflayan sinyallerin genliğinin kazancını artırabilme adına kullanılmaktadır.

TGC: Zaman kazanç telafisi ise VGA'da bahsedilen yapıya ek olarak farklı dokular arasında farklı hızlarda ilerlediği için ultrasonik dalgalar yayılmaya ve sönümlenmeye maruz kalabilir. Daha derin dokulara inildikçe bu sinyal zayıflamasının telafi edilmesi gerekmektedir.

Beamforming: Ultrason probu kullanılırken prob içerisinde ses dalgalarını meydana getiren piezoelektrik transdüserin, ultrasonik dalgaları bir hedefe doğru odaklamak için kullanılan bir yöntemdir. Görüntü kalitesinin artırılmasını, dokular arasındaki farklılıkların daha fazla ayırt edilebilmesine yardımcı olan bir tekniktir. Derinlik ve konrast gibi değişkenlerin parametrelerinin değiştirilmesi suretiyle istenmeyen gürültülerin azaltılarak istenilen hedefin görüntülenmesine yardımcı olur. Bu çalışmada beamforming özelliği seçilen AFE çıkışlarında FPGA tarafında sinyal işlemede kullanılan birçok yöntemle ve görüntü işleme metotları ile kullanılabilmesi için serbest bırakılmıştır.

# 2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

## 2.1. AFE

AFE (Analog Front End) denilen analog ön uçlar ultrason görüntüleme sistemlerinde kullanılan, içerisinde LNA, VGA, AAF, ADC ve TGC gibi yapıların tümleşik olarak gömülü olduğu, ultrason cihazındaki probların içerisinde yer alan piezoelektrik transdüserler ile sinyal işleme ve görüntüleme birimleri arasındaki köprüyü kuran, piezoelektrik transdüseri sürmek için gerekli olan ve HV üretecinde üretilen yüksek gerilimi HV Pulser aracılığı ile anahtarlanmasını sağlayan, bu anahtarlama için FPGA'den yapılacak olan okuma ve yazma işlevi için RX/TX arayüzünü içerisinde barındıran elektronik komponentlerdir.

2022 yılında yapılan bir araştırmada [3], ultason görüntüleme sistemlerindeki alt parçalardan olan HV Pulser, TGC, ADC ve AFE gibi yapıların bulunduğu, literatürdeki diğer çalışmaları barındıran ve karşılaştırmaların yapıldığı tablolar incelenmiştir. Referans gösterilen çalışmalarda ultrason görüntüleme siteminin merkezi olan AFE'lerden en yüksek hızda örnekleme yapan çipler seçilerek aşağıdaki tabloda gösterilmiştir [3].

**Tablo 1: Ultrason Görüntüleme Sistemi Çalışmalarında Kullanılan AFE'ler**

| Referans | Örnekleme Hızı | Çözünürlük | AFE | Yıl |
|---|---|---|---|---|
| Pashaei, Dehghanzadeh, et al. 2020 | 80 Msps | 12 bit | AD9276 | 2020 |
| Weibao Qiu, J. Xia, et al. 2018 | 160 Msps | - | AD8331 | 2018 |
| Matera et al. 2018 | 75 Msps | 14 bit | AFE5809 | 2018 |
| A. A. Assef and Maia 2014 | 50 Msps | 12 bit | AFE5805 | 2014 |
| H. Li et al. 2014 | 40 Msps | 12 bit | AD9276 | 2014 |

Ultrason görüntüleme sistemi çalışmalarında ağırlıklı olarak Analog Devices, Texas Instruments ve Microchip gibi üreticilerin popüler olduğu görülmektedir. Bu AFE'ler arasında en yüksek örnekleme hızına sahip olan çip her zaman en iyi seçim olmamaktadır. Sistemin tamamını çalıştırmak için gerekli diğer alt bileşenler ile beraber tümleşik bir yapı oluşturulmak istenildiğinde çok yüksek maliyetli ve fiziksel olarak oldukça büyük ürünler yapılması gerekmektedir. Bu tez çalışmasının amacı düşük maliyetli ve portatif bir ürün

geliştirmektir. Seçilecek olan AFE için minimum çevre birim devre elemanları ile oluşturulacak bir analog ön uç devre tasarımı yapılmıştır. AFE içerisinde tasarım karmaşıklığının minimum seviyede tutulabilmesi için dahili olarak bulunması gerektiğine kanaat getirilen ADC, TGC, VGA ve LVDS çıkışlı olması gibi özellikleri kendi içerisinde barındıran Analog Devices üreticisine ait AD9272 seçilmiştir. Diğer çip üreticilerinin sahip olduğu ve kullanımı popüler AFE'lerin dahili olarak neleri barındırdığının tablosu aşağıda verilmiştir.

**Tablo 2: AFE'lerin Dahili Özelliklerinin Karşılaştırması**

| Çip | LNA | VGA | AAF | ADC | TGC | LVDS |
|---|---|---|---|---|---|---|
| AD8331 | Var | Var | - | Var | Var | - |
| AFE5809 | Var | - | - | Var | Var | Var |
| AFE5805 | Var | - | - | Var | Var | Var |
| AD9276 | Var | Var | Var | Var | Var | Var |
| AD9272 | Var | Var | Var | Var | Var | Var |

## 2.2. HV Üreteci

Yüksek gerilim ultrasonik görüntüleme cihazlarında en çok zorluk olarak görülen kısımlardan bir tanesidir. Bununla ilgili olarak ultrasonik görüntüleme cihazlarına özel bir çalışmaya pek rastlanmamaktadır. Daha farklı yüksek gerilim üreteçleri yapılan çalışmaların içerisine gömülmektedir. Yüksek gerilim, ultrason probları içerisinde hesaplanarak uygun geometride yerleştirilmiş piezoelektrik materyallerin, yani HV Mux ile çok sayıda kanalı sürebilen bir piezoelektrik transdüserlerin enerjilendirmesi ve materyallerin akustik ses dalgası oluşturması için gereklidir [4]. Burada üretilen gerilim HV Pulser seçimi bölümünde bahsedilecek olan 8 kanallı bir pulser yardımı ile prob içerisinde yer alan HV Mux'un anahtarlanıp piezoelektrik malzemelerinde ses dalgasının üretilmesini sağlayacaktır. Yapılan bir çalışmada [5] HV üreteci olarak 70V, 90V ve 130V üretebilen sistemler denenmiştir. 130V gerilim ile çalışan sistemlerinde araştırmacıların "hammer effect" diye isimlendirdikleri istenmeyen bir sorun ile karşılaştıkları ve 70V ile çalışan sistemlerinde ise temiz bir RX işlemi gerçekleştiremedikleri belirtilmiştir.

## 2.3. HV Pulser

Ultrason probları içerisinde elektrik sinyalini akustik ses dalgalarına çeviren piezoelektrik materyaller bulunmaktadır. Bunlar çok düzgün bir yapıda kesilerek özel bir geometrik hesap ile ultrason analog ön uç yapısının kanal sayısına göre konumlandırılırmıştır. Son teknoloji problar çözünürlüğün artırılabilmesi için ultrason cihazı içerisindeki analog ön uç yapısının kanal sayısından bağımsız olarak çok daha fazla sayıda piezoelektrik malzemenin sürülebilmesi için içerisinde yüksek gerilim çoğullayıcı (HV Mux) denilen yapı ile sunulmaktadır.

Çalışmalardan birinde [6], yüksek gerili üretimi gerçekleştirildikten sonra bu gerilim ultrason probu içerisinde yer alan transdüserin anahtarlanarak sürülebilmesi için 8 kanallı bir anahtarlama işlemi yapabilen 70 V'a kadar çalışabilen Microchip'e ait HV7351 kullanılmıştır.

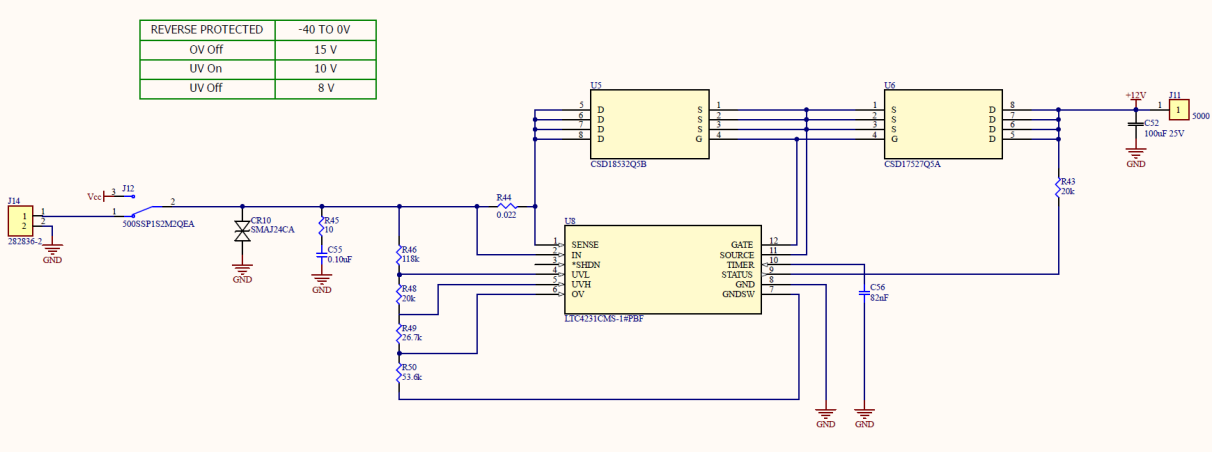
# 3. YÖNTEM

## 3.1. Güç Katı

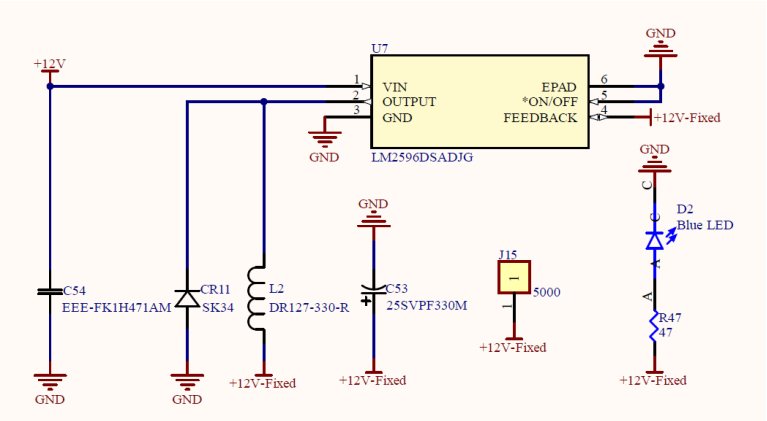
Bu çalışmada sistemin teknolojik gösterimi için multi voltaj besleme yapılmıştır. Hem 230 V AC şebeke geriliminden beslenebilmesi için hem de laboratuvar ortamında 24 V DC beslenebilmesi için, giriş geriliminin bir anahtar ile seçilebildiği tümleşik yapı tasarlanmıştır. 230 V AC şebeke geriliminden beslenebilmesi için Mean Well üreticisine ait %88.5 verimli 85 - 305 V AC, 47 – 440 Hz evrensel besleme girişli ve dahili olarak EMC koruma devresi bulunduran, 24 V DC 30 W'lık IRM30-24 seçilmiştir [7]. Buradaki modüle ek olarak Mean Well üreticisinin uygulama notlarında tavsiye edilen EMI koruma devresi de eklenmiştir.

Sistemdeki giriş geriliminin anahtar ile seçilebildiği diğer DC giriş için ise 40 V DC mertebesine kadar besleme girişi kabulu ile 3 Ampere kadar çıkış verebilen 12V DC sabit gerilim verebilen DC/DC dönüştürücü olan Texas Instruments üreticisine ait LM2596 kullanılmıştır [8]. Sistem hem şebeke gerilimi ile çalıştırıldığında hem de DC besleme girişi kullanılarak çalıştırıldığında içerisindeki AFE, HV üreteci ve HV Pulser'in çalışmaları için ihiyacı olan 12V, 5V, 3.3V, 3V, 1.8V ve -5V gibi gerekli dönüşümleri yapacak olan diğer DC/DC dönüştürücülerin tümünü besleyebilecek kabiliyette multi voltaj besleme girişli tasarlanmıştır. Burada ana dağıtım için gerekli olan 12 V DC değeri LM2596 ile sağlanacaktır. Ayrıca bu değerin besleme girişinden gelen voltajın çok yüksek, çok düşük ya da ters polarma altında gelmesine karşı devrede bulunan tüm çipleri koruma amacı ile -40 Volta kadar ters gerilim koruması, 15V üzerinde yüksek gerilim koruması, 8 V altında da düşük gerilim koruması özelliklerini sunan Analog Devices üreticisine ait LTC4231CMS kullanılmıştır. 5V, 3.3V, 3V ve 1.8V gibi AFE seçiminde yapılmış olan çipin çalışması için ihtiyacı olan bu gerilim seviyelerinin oluşturulması, medikal ultrason görüntüleme sistemleri için çip üretmekte olan Analog Devices üreticisine ait olan DC/DC dönüştürücüler ile yapılmıştır. 5V için gerekli olan DC/DC düşürme işlemi ADP2302ARDZ-5.0-R7, 3.3V için gerekli olan DC/DC düşürme işlemi ADP2302ARDZ-3.3-R7, 3V için gerekli olan DC/DC düşürme işlemi ADP2302ARDZ, 1.8V için gerekli olan DC/DC düşürme işlemi ADP2302ARDZ ile yapılmıştır. Ayrıca AFE tasarımında bahsedilecek olan harici olarak dışarıdan bir kaynak ile kazanç ayarının yapılabilmesini sağlayan diferansiyel ADC

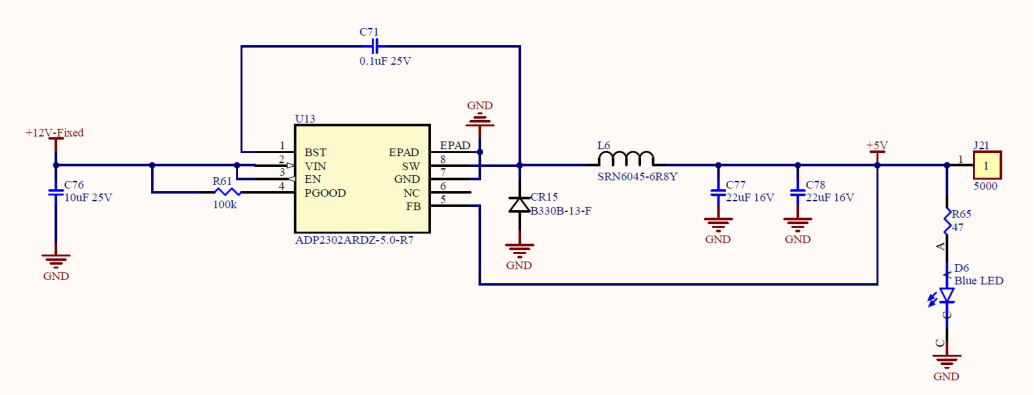
sürücünün simetrik beslemesinde kullanılacak olan -5V seviyesi için yine Analog Devices üreticisine ait olan LT1054 anahtarlı kapasitör voltaj dönüştürücü kullanılmıştır.



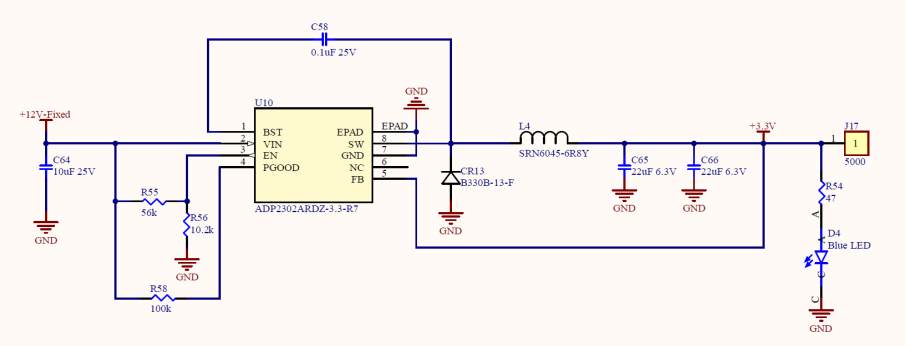

**Şekil 2: LTC4231CMS Ters Polarma, Yüksek ve Alçak Gerilim Koruması Şematik**



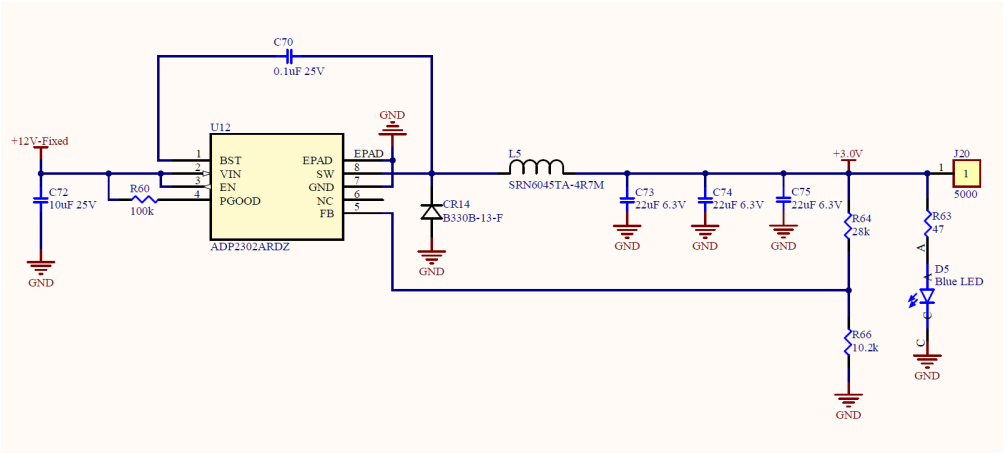

**Şekil 3: LM2596 12V DC/DC Dönüştürücü Şematik**



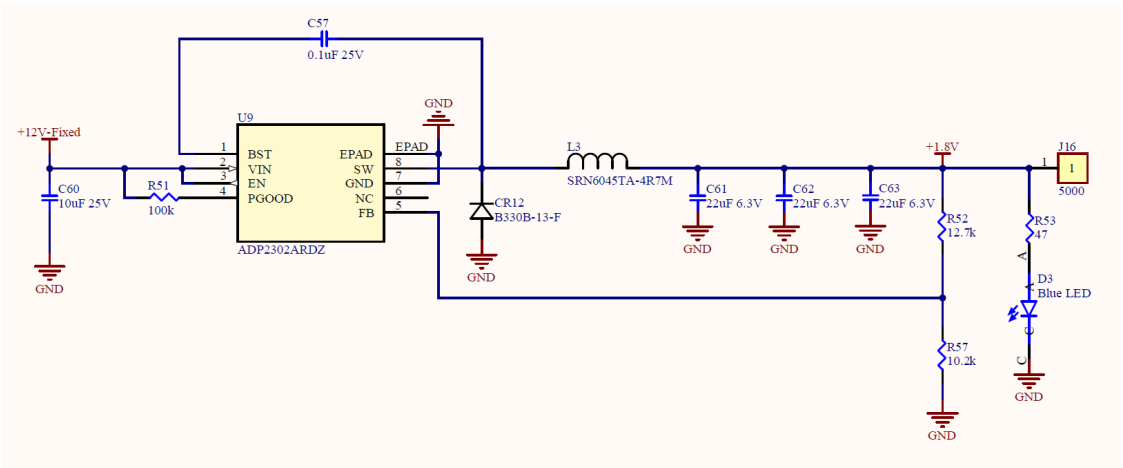

**Şekil 4: ADP2302ARDZ-5.0-R7 5V DC/DC Dönüştürücü Şematik**



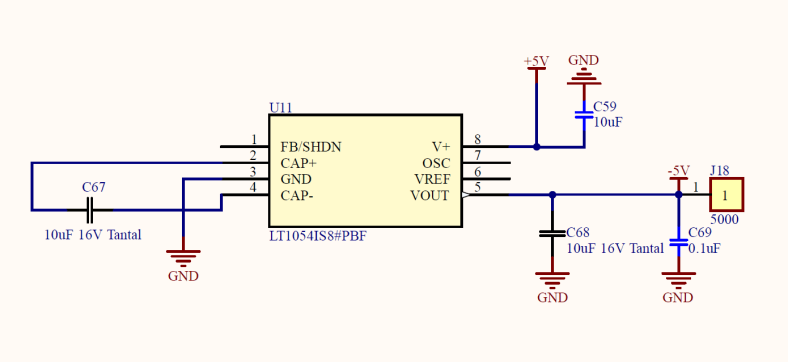

**Şekil 5: ADP2302ARDZ-3.3-R7 3.3V DC/DC Dönüştürücü Şematik**



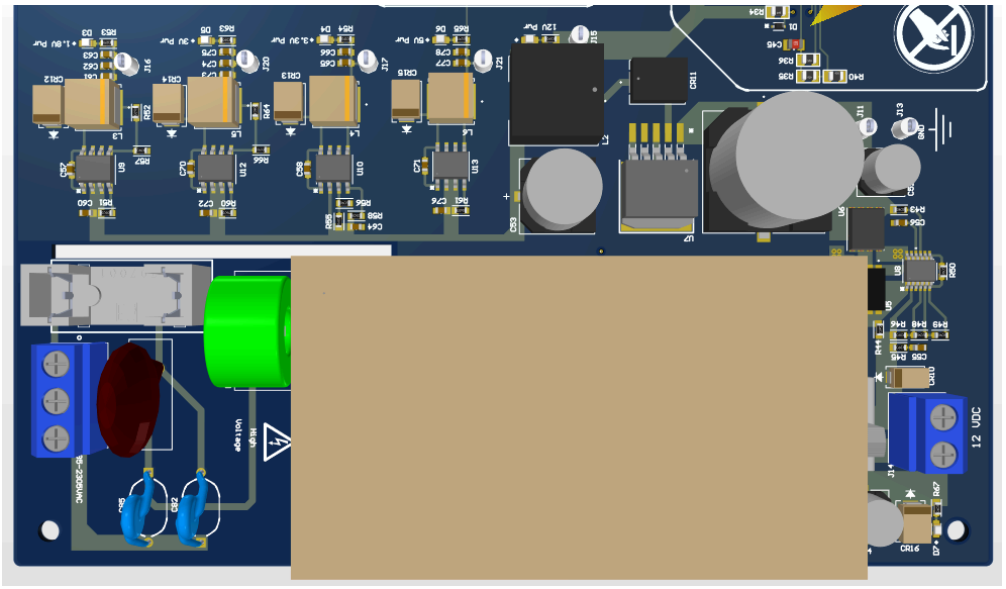

**Şekil 6: ADP2302ARDZ 3V DC/DC Dönüştürücü Şematik**




**Şekil 7: ADP2302ARDZ 1.8V DC/DC Dönüştürücü**




**Şekil 8: LT1054 -5V Evirici Şematik**




**Şekil 9: PCB'nin Güç Katını İçeren Bölümü**

## 3.2. Güç Katı Tasarımında Kullanılan ve Dikkat Edilen Yöntemler

Ultrason görüntüleme tekniklerinde tıbbi güvenilirliğe ve maliyetin düşük olmasına önem gösterilir. Canlı dokusunun hayati önem taşıyan bölümlerinin tıbbi olarak görüntülenmesinde diğer görüntüleme teknolojilerine nazaran ses dalgalarının kullanılarak görüntüleme işleminin gerçekleştirilmesi tıbbi güvenilirliği destekleyici bir avantajdır. Ayrıca gelişen teknoloji ile birlikte bu görüntüleme cihazlarının taşınabilir boyutlara indirgenebilmesi, karmaşık yapılarına rağmen gelişen AFE teknolojileri ile birlikte görüntüleme sistemlerinin tasarımlarında maliyet giderek azalmaktadır. Bu çalışmada nihai çıktı olarak taşınabilir boyutlarda yapılması hedeflenen analog ön uç devresi için ultrason görüntüleme sisteminde

olması gereken minimum donanım yapılarında kullanılacak olan yapılar, çipler, çevre arabirim malzemelerin hepsi elektronik tasarım ve devre çizimi programında bir araya getirilmiştir.

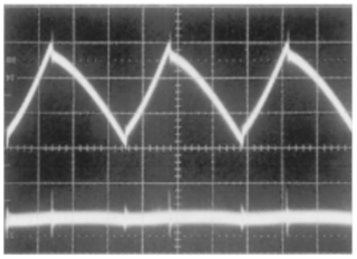
Güç katı için gerekli olan birimler kavramsal çerçevede detaylı bir şekilde paylaşılmıştır. Sistemin enerjilenmesi için gerçekte kullanılacağı yerler baz alınmıştır. Ultrasonik görüntüleme cihazının ihtiyacı olan yerler ağırlıklı olarak şebeke gerilimine erişimin mümkün olduğu bölümler olarak değerlendirilmiştir. Bu yüzden universal besleme girişine sahip nitelikte, içerisinde SMPS trafo aracılığı ile sistemin ihtiyacı olan DC gerilimi üretebilen modüler yapıda bir AC/DC dönüştürücü kullanılmıştır.



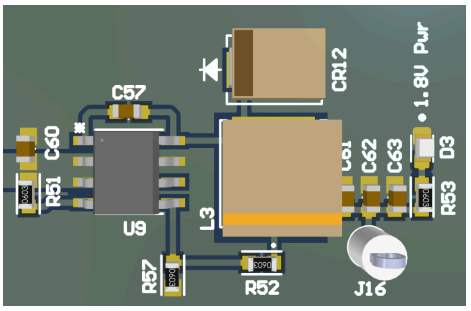

**Şekil 10: Mean Well IRM30-24**

AC gerilimin DC gerilime dönüştürüldüğü noktada sistemin içerisinde değişken birden fazla DC gerilime ihtiyaç bulunmaktadır. IRM30-24'ten elde edilen gerilim her ne kadar düzgün regüle edilmiş olsa da AFE, HV Üreteci, HV Pulser ve clock frekansının üretilmesini sağlayan çiplerin çok daha kesin bir şekilde regüleli bir DC gerilim ile beslenebilmesi için herhangi bir şekilde nabazanlı DC oluşumuna izin vermemesi adına LM2596 ile ikinci bir kez DC/DC dönüştürücüden geçirilmiştir. Bu noktadan sonra diğer çiplerin ihtiyacı olan 5V, 3.3V, 3V, 1.8V gibi değerlerini üretebilmek için her birine ayrı ayrı DC/DC dönüştürücüler kullanılmıştır. Burada dönüştürücülerin çıkışlarında kullanılmakta olan bobinlerin işlevi kritik olduğundan dolayı şematik tasarım aşamasındaki komponent seçiminin dikkat edilmesi dışında PCB tasarımı yapılırken de bobin ve etrafındaki bakır yolların birbirlerine olan

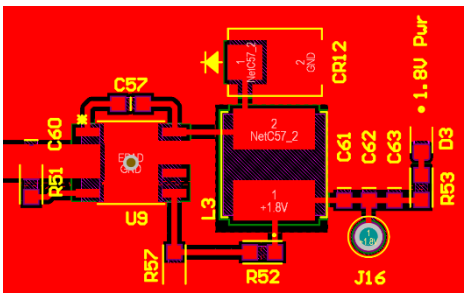
mesafeleri ve bobin bacakları arasından herhangi bir yol geçmemesi gibi kriterlere dikkat edilmiştir [9, 10].



**Şekil 11: Meydana Gelebilecek Ripple ve Regüle Edilmesi**




**Şekil 12: 1.8V DC Çıkış PCB Yerleşim**

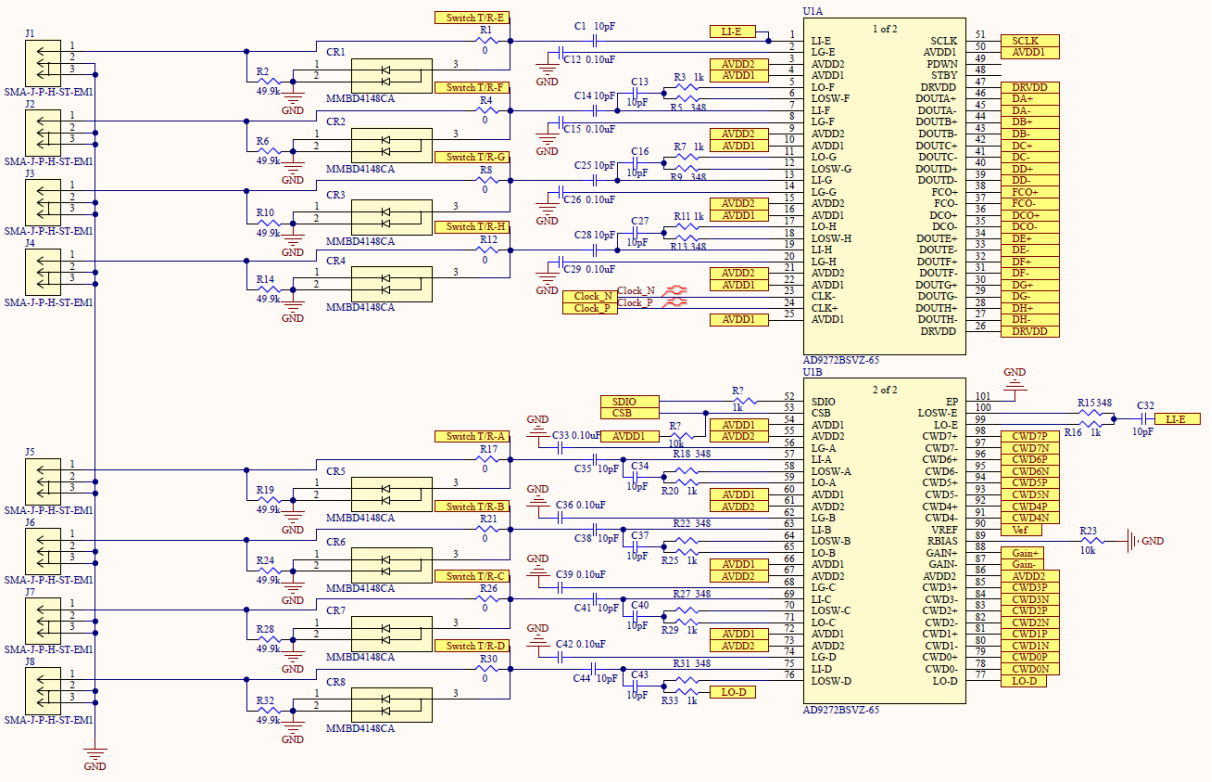



**Şekil 13: 1.8V DC Çıkış PCB Çizim**

### 3.3. AFE Seçimi ve Tasarımı

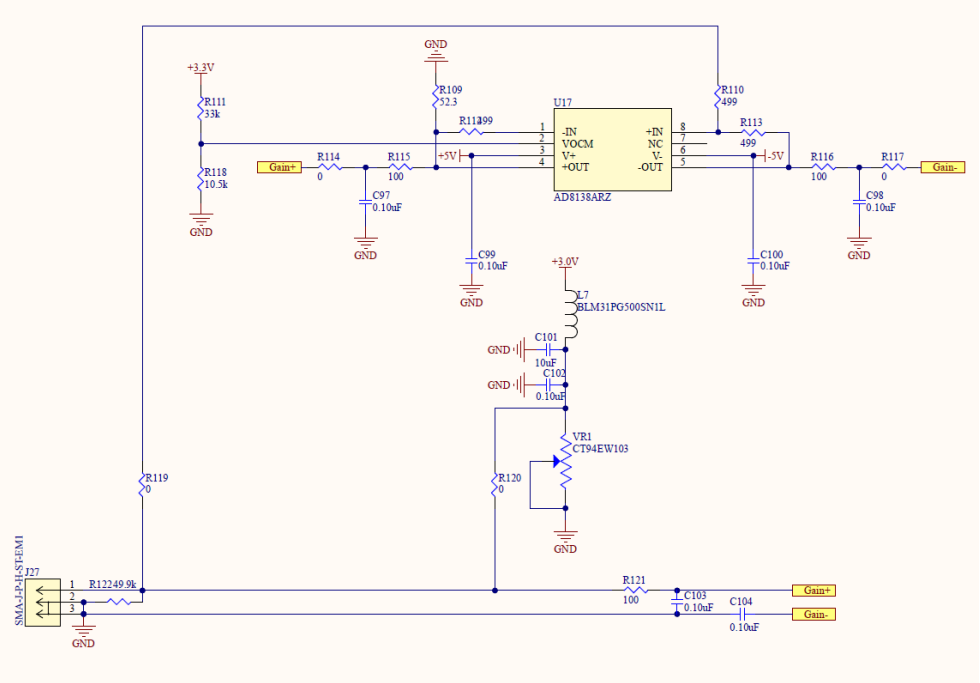
Analog Devices'a ait olan AD9276 ve AD9272 [11] birbirine benzer gözükse de AD9272'de bulunan çapraz nokta anahtarlama (crosspoint switch) özelliği sayesinde tercih sebebi olmuştur. Çapraz nokta anahtarlama telekomünikasyonda bi matris konfigürasyonu ile düzenlenmiş bir anahtarlama sistemidir [12]. AD9272 içerisinde gömülü olarak bulunan bu yapı, çok kanallı piezoelektrik transdüserlerin HV Pulser yardımı ile sürülürken FPGA tarafından RX/TX arayüzü ile kontrol edilmesini kolaylaştırmış olur. Bu çalışmada bu

bağlantılar AFE yapısının bir sinyal generatörü aracılığı ile deneysel olarak çalışmasının yapılabilmesi için SMA konektörler ile sonlandırılmış olup, yüksek hızlı PCB tasarım kuralları çerçevesinde [9, 10] iletilen sinyallerde bir kayıp ve yansıma olmaması adına seçilen SMA konnektörün empedans değeri olan 50 Ohm'a uygun yol belirlenerek bir empedans eşitleme yapılarak çizilmiştir.

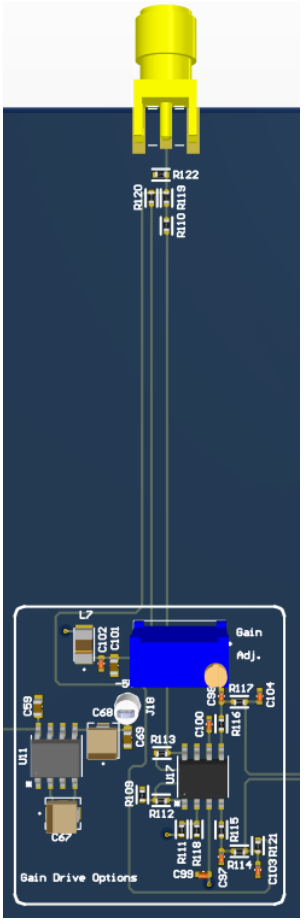



**Şekil 14: AD9272 Genel Şematik**

Aynı zamanda AD9272'ye SMA konnektörler üzerinden gönderilecek olan sinyallerin AFE içerisinde kazancının değişirilmesini sağlayan bir yapı bulunmaktadır. Bu yapı bu kazanç değerinin dışarıdan bir kaynakla kontrol edilmesine izin vermektedir. Harici bir kaynaktan verilecek olan bu değer doğrudan verilemeyeceği için bir diferansiyel ADC sürücü kullanılmıştır. Diferansiyel ADC sürücü olarak Analog Devices üreticisine ait AD8138 seçilmiştir. Buna ait sistemimizde oluşturulan şematik ve PCB tasarımı Şekil 15'teki gibidir.

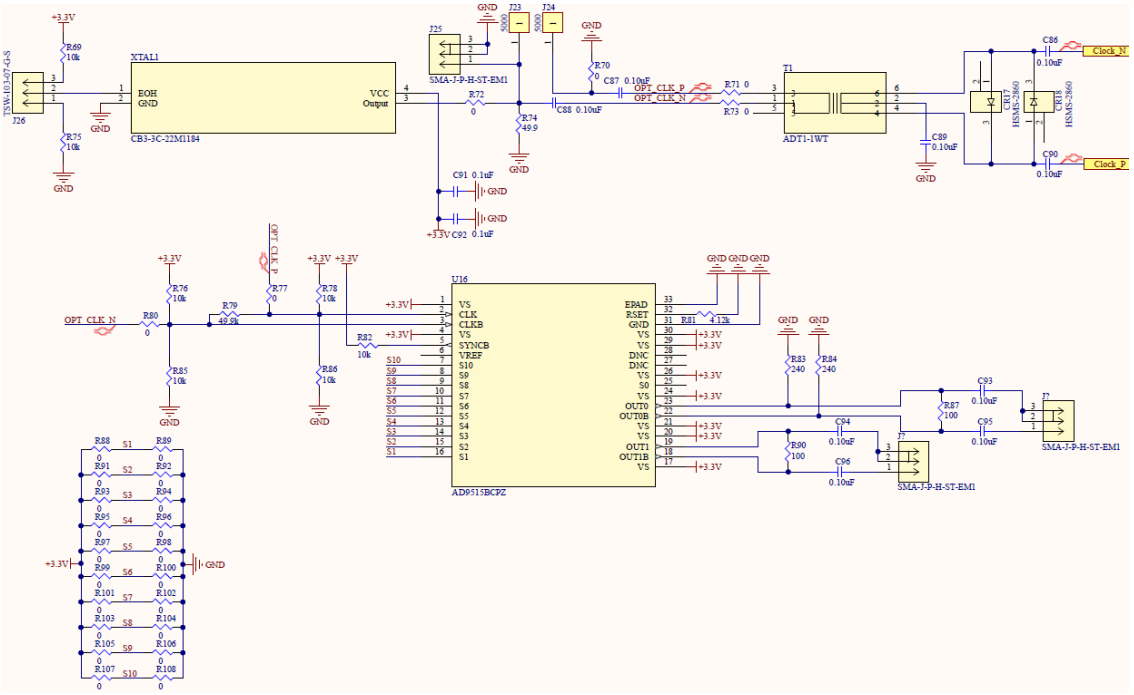



**Şekil 15: AD8138 Şematik**

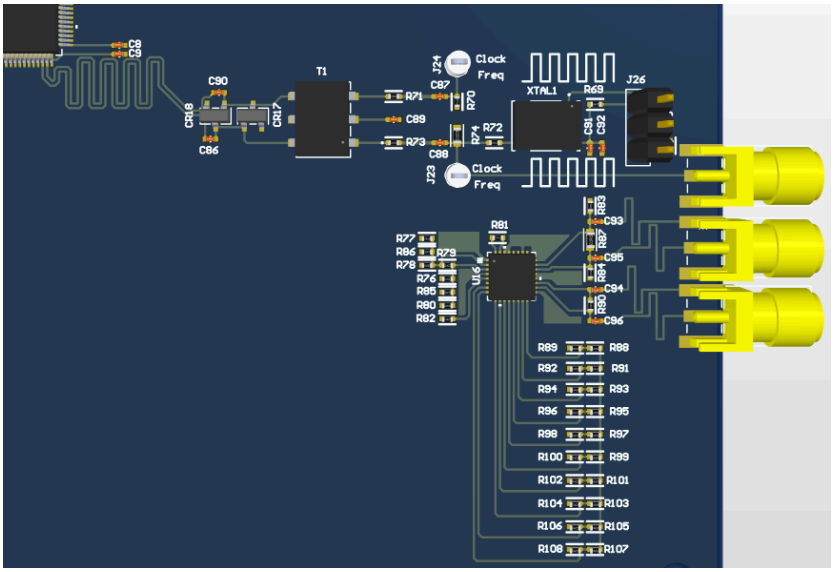



**Şekil 16: PCB'nin Kazanç Ayarını İçeren Bölümü**

AD9272 için clock frekansı ihtiyacı harici olarak sağlanmaktadır. AFE'lerin büyük çoğunluğu diferansiyel clock ile çalışmaktadır. Burada AD9272'nin clock frekansı ile sinyal işleme yapacak traftaki FPGA için clock frekansının handshake olabilmesi için clock divider özelliği bulunan, 2 tarafa da clock frekansının iletilebilmesini sağlayacak olan AD9515 kullanılmıştır. Clock Divider çıkışları LVDS olduğundan dolayı yüksek hızlı PCB tasarım kuraları gereği PCB yolları uzunluk eşleştirme özelliği kullanılarak çizilmiştir [9, 10].



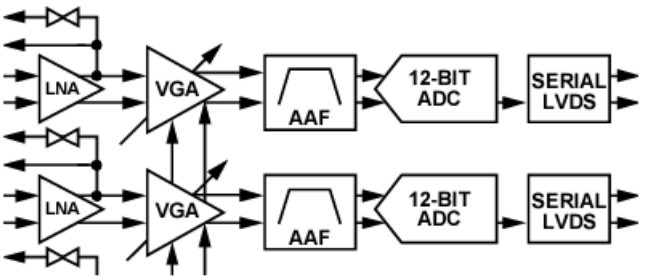

**Şekil 17: AD9515 Şematik**



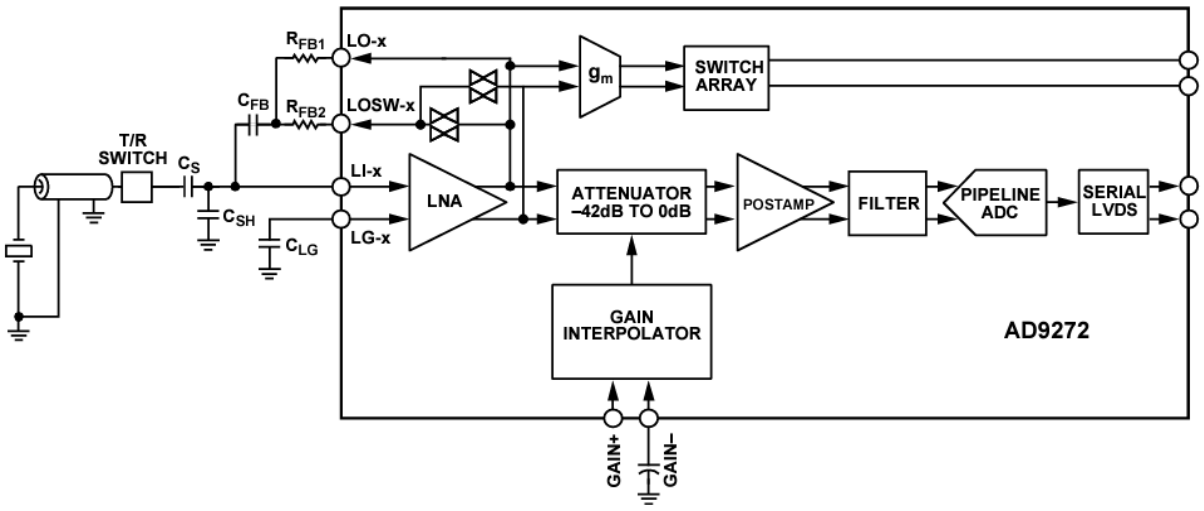

**Şekil 18: PCB'nin Clock Frekansını İçeren Bölümü**

## 3.4. AFE Tasarımında Kullanılan ve Dikkat Edilen Yöntemler

AFE olarak bu çalışmada AD9272 seçilmiştir. 8 kanallı olan bu AFE her bir kanal için içerisinde ayrı ayrı LNA, VGA, AAF, 12bit ADC ve LVDS çıkışlar barındırmaktadır. 12 bitlik ADC 80Msps'e kadar örnekleme frekansına çıkabilmektedir.




**Şekil 19: AD9272 Kanal Yapısı**




**Şekil 20: 1 Kanalın Transdüser ile Olan Arayüzünün İçi**

Burada kullanılan yöntemde kazancın dışarıdan harici olarak verilmesi üzerine AD9272'nin müsait olan yapısı kullanılmıştır. Ultrasonik görüntüleme sistemlerinde ölçüm yapılırken gönderilen ses dalgalarından ne kadarı geri yansıdığına bakılarak 2D görüntü oluşturulmaktadır. Fakat ses dalgaları doku içerisinde niteliği birbirinden oldukça farklı yapılardan geçerek ilerler ve yansırlar. Bu yansıyan dalgalardan anlamlı bir 2D görüntünün oluşturulabilmesi için RX'den gelen sinyal VGA'dan ve TGC'den geçirilerek LVDS kanallar üzerinden sinyal işleme birimine gönderilir. Denetleyici üzerinden kazancın ayarlanarak gönderileceği bir kaynak gerilimi için hem ADC işleminin gerçekleştirilmesi hem de bu sinyallerin olası bir gürültü kaynağı ile bozulmasına karşı önlem alınması amacı ile diferansiyel olarak iletilebilmesini sağlamak gerekmektedir. Bu yüzden kazancın harici bir kaynak üzerinden dışarıdan verilmesi işlemi için AD8138 gibi bir diferansiyel ADC sürücü kullanılmıştır.

### 3.5. HV Seçimi ve Tasarımı

Yüksek gerilim üreteci olarak Microchip firmasına ait olan HV9150 seçilmiştir [13]. Düşük giriş gerilimi, yüksek ve geniş çıkış voltaj aralığı, programlanabilir anaharlama frekansı, harici olarak çıkışında mosfet sürücü ile kullanılabilmesi gibi avantajlarından dolayı seçilmiştir. Piezoelektrik malzemelerde olduğu gibi yüksek voltaj ve düşük akım gerektiren sistemler için tasarlanmıştır. Aynı zamanda ultrason cihazının kullanım şeklinden sebeble cihazın kullanılmadığı durumlar için denetleyicinin kapanması ile çalışması için gereken

akımın en aza indirildiği bir geri besleme entegre edilmiştir. Bu özelliği sayesinde güç tasarrufu sağlaması hedeflenmiştir.

HV9150 tasarımı için ihtiyaç duyulan birçok parametre vardır. Bu parametrelerin belirlenmesi için bir takım çalışmalar incelenmiştir [6]. DC/DC dönüştürücülerin tasarımı göz önüne alınacak olursa giriş voltajı, çıkış voltajı ve çıkış gücü gibi gereksinimler sade bir DC/DC dönüştürücü için yeterli olsa da yapılan çalışmada; çalışma frekansı, bobin değeri, görev döngüsü ve mosfetin iç direnci gibi rdeğerlerin bu tasarımda dikkat edilmesi gereken parametreler arasında olduğu anlaşılmıştır. Bu parametrelerin diğer başlıklar altında yer alan yüksek gerilim darbe tetikleyicisi ve analog ön uç tümleşik çipi gibi diğer çevre birimlerle ortak çalışma bölgesinde yer alacak şekilde belirlenmiştir.

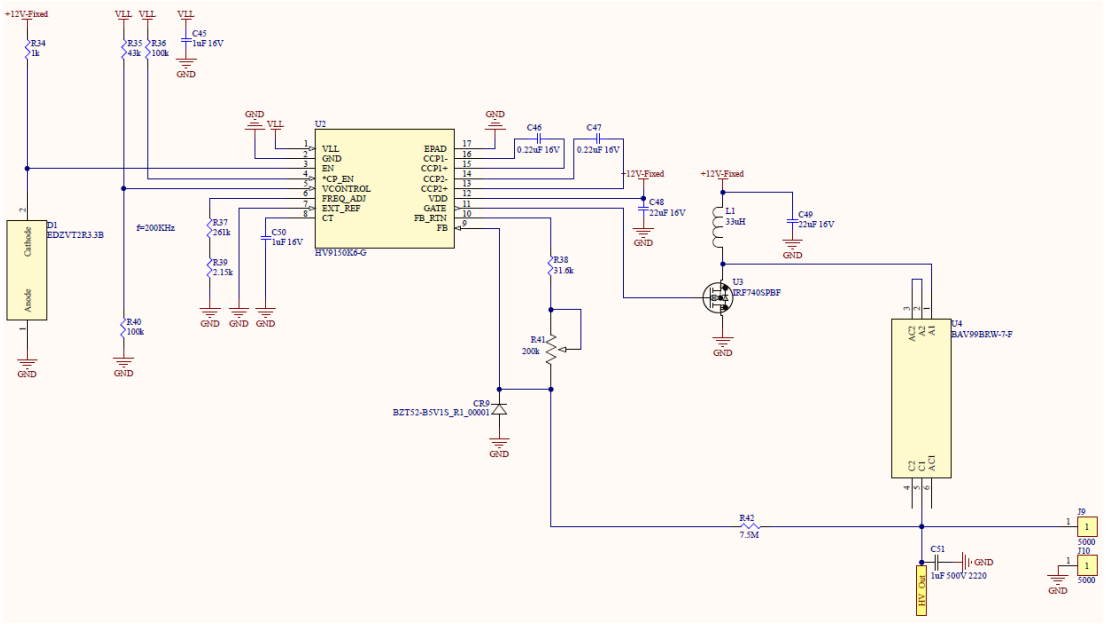
HV9150 için oluşturulan analog devrenin formülleri;

$$V_o = \frac{V_i}{2} x \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4D^2}{K}}\right) \quad (1)$$

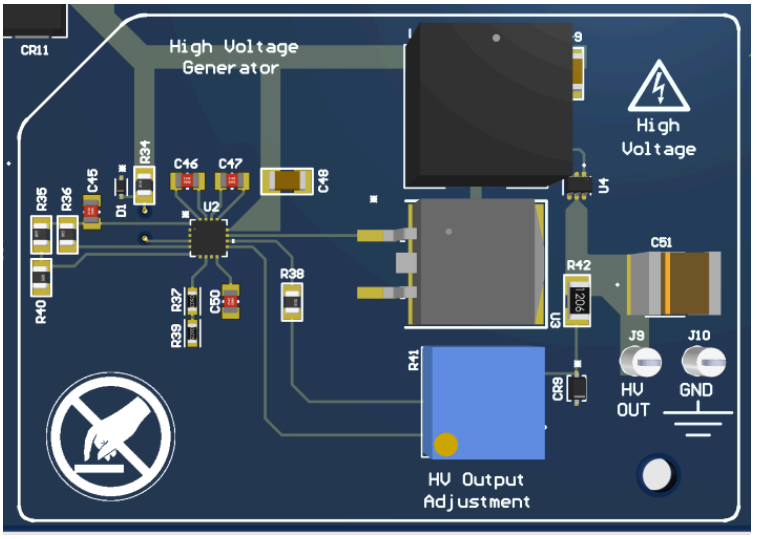
$$K = \frac{2 \, x \, L \, x \, f_{GATE}}{R} \quad (2)$$

$$D_{MAX} = 1 - \frac{V_i}{V_o} \quad (3)$$

$$I_{PEAK} = \frac{V_i x D}{L x f_{GATE}} \quad (4)$$




**Şekil 21: HV9150 Yüksek Gerilim Üreteci Şematik**




**Şekil 22: PCB'nin HV9150 Yüksek Gerilim Üretecini İçeren Kısmı**

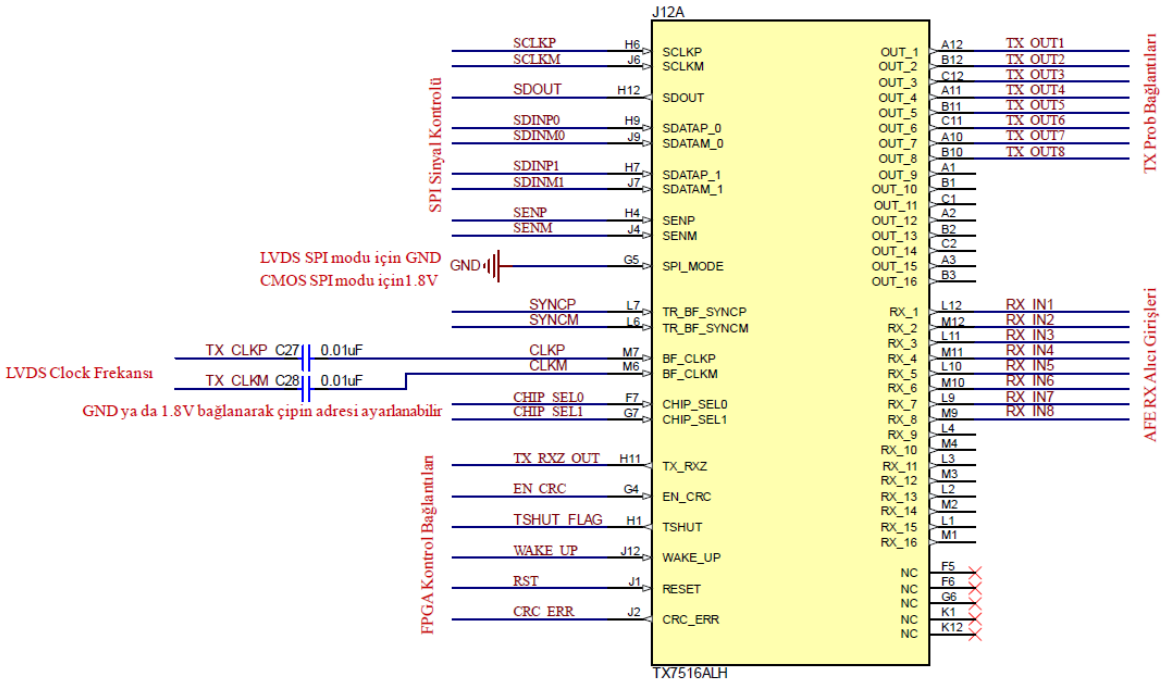
## 3.6. HV Tasarımında Kullanılan ve Dikkat Edilen Yöntemler

Ultrasonik görüntüleme sistemlerinde yüksek gerilim ihtiyacı bulunmaktadır. Bu gerilimin büyüklüğünü seçilen prob ve seçilen HV Pulserin anahtarlayabileceği maksimum gerilim seviyesi sınırlar. Sistemde kullanılan HV gerilim seviyesi 100 V olarak belilenmiştir. HV9150 ile kurulan devrede ise bu değeri sağlayabilecek komponentler seçilmiştir.

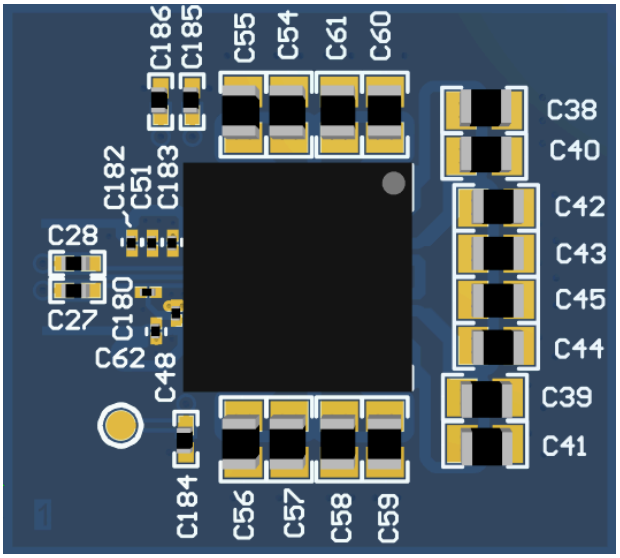
Buradaki gerilim seviyesinden kaynaklı malzeme yerleşimi olabildiğince sıralı, komponentlerin arasındaki iletim hatlarını sağlayan bakır yollar herhangi bir şekilde elektriksel delinmeye ya da atlamaya sebep olması için olabildiğince düz, köşesiz ve sivri olmayan şekilde yapılmıştır. Çıkışın değerinin düşük toleranslı ve çok turlu bir potansiyometre ile ayarlanabilmesi sağlanmış ve bu değerin okunması için test noktaları ile desteklenmiştir. Test ve deneysel çalışma faaliyetlerindeki güvenli çalışmanın sağlanabilmesi için yüksek gerilim ile ilgili kart üzerinde temas edilmemesi gereken bölgeler özel olarak işaretlenmiştir.

## 3.7. HV Pulser

Yüksek gerilim üretecinde üretilen gerilim, ultrason probu içerisinde yer alan, piezoelektrik transduser denilen çok sayıda piezoelektrik malzemelerin sürülebilmesi için Texas Instruments tarafından ultrason görüntüleme sistemlerinde kullanılma amacı ile üretilen TX7516 piezoelektrik sürücü kullanılmıştır. TX7516 16 kanallı bir transdüser sürebilmektedir. Fakat bu çalışmada 8 kanallı olarak kullanılmıştır [14].




**Şekil 23: TX7516 Şematik**




**Şekil 24: PCB'nin TX7516'yı İçeren Kısmı**

### 3.8. HV Pulser'de Kullanılan ve Dikkat Edilen Yöntemler

AFE olarak çalışmamızda seçtiğimiz AD9272 ile arayüzü bulunacak olan HV Pulser yani TX7516, 8 kanallı olarak kullanılmıştır. TX7516'daki AFE ile bağlantısının sağlanacağı özel olarak ayrılmış RX pinleri bulunmaktadır. Aynı çip üzerindeki TX portu ise prob arayüzü ile bağlantısının yapılacağı pinlerdir. Buradaki anahtarlama işleminin kontrolü LVDS SPI modu üzerinden gerçekleştirilecek olup TX7516 üzerindeki ilgili pini "GND"ye çekmek sureti ile gerçekleşebilmekedir. FPGA ile LVDS SPI üzerinden arayüzü bulunacak olan bu çip, ultrasonik ses dalgalarının prob içerisindeki piezoelektrik transdüserlerden ses dalgası gönderilebilmesi için TX pinlerini kullanmaktadır. 2D görüntünün oluşturulabilmesi, FPGA tarafından TX işleminin bırakılıp, RX okuma işlemine geçilmesi ile başlatılarak, yansıyan ultrasonik dalgaların, prob üzerindeki arayüzden gelen RX bilgilerini AFE'nin giriş pinlerine gönderilerek, LNA, VGA, AAF ve 12 bit ADC'den geçtikten sonra tekrar 80 Msps örneklenerek FGPA tarafına gönderilmesi, sinyalin orada işlenmesi ve görüntü birimine iletilmesi ile meydana getirilmektedir [15].

Burada elektronik tasarım ve devre çizimi programında oluşturulan şematikte diferansiyel çift olarak gitmesi gereken bazı yollar, diferansiyel yol çizim araçları kullanılarak oluşturulmuştur [9, 10]. Empedans profili 50 ohm olarak ayarlanmış olup, TX7516 üzerindeki AFE ve FPGA tarafındaki haberleşme bağlantılarının yüksek frekanslı olması ve yüksek örnekleme yapmasından dolayı iletim hatlarından yansıma olmaması için diferansiyel ikili kullanılarak

çizim gerçekleştirilmiştir. Ayrıca diferansiyel ikili kullanılarak çizilemeyen yapılar uzunluk eşitleme aracı yardımı ile mesafelerin neredeyse aynı olmasına dikkat edilerek çizim işlemi yapılmıştır.

# 4. BULGULAR

Ultrason görüntüleme sisteminde kullanılmak üzere düşük maliyetli ve taşınabilir bir analog ön uç devre tasarımı bir elektronik tasarım ve devre çizimi programında gerçekleştirilmiştir. Tasarımda kullanılan bir çok komponent, en güncel teknolojiye sahip olan ve günümüz tarihine en yakın zamanda piyasaya sürülmüş olanlardan seçilmiştir. Bunlardan AFE seçiminde kullanılan Analog Devices üreticisine ait medikal ultrason görüntüleme sistemlerinde kullanılmak üzere üretilmiş olan AD9272, en yeni piyasaya sürülmemiş bir komponent olarak sistem mimarisinde bulunan diğer komponentler ile ortak çalışma bölgesinde olabilmesi için kullanılmak zorunda kalınmıştır. İçerisindeki LNA, VGA, AAF gibi yapılar sayesinde kurulan analog ön uç devre şemasının oldukça sadeleştirilmesinde çok faydalı bulunmuştur. Ayrıca FPGA tarafından yönetilecek olan arayüz tarafında kullanıcının sadece RX/TX anahtarlamaları kontrol edebilmenin dışında kazanç ayarı gibi özellikleri sayesinde analog ön uç devresine esneklik vermiştir. Bu özelliğe FPGA ile yapılan buna benzer uygulamalarda AD9272 ve türevini kullanmayan diğer çalışmalarda rastlanmamıştır [6, 15].

HV üreteci kapsamında Microchip üreticisine ait HV9150 seçimi birçok HV üretecinin aksine tasarım kolaylığı ve sistemimizde 100V ihtiyacımız olmasına karşın birçok HV üretecine nazaran çok daha geniş çıkış gerilimine sahiptir. Böylece HV üretilirken kullanılan tasarımda kullanılan elektronik komponentler limit değerlerinde çalıştırılmamış olurlar. Bu da sistemin daha uzun ömürlü olmasına fayda sağlayacak bir özelliktir.

HV Pulser için kullanılan TX7516 2022 yılında üretilmiş olup, Texas Instruments üreticisine ait medikal ultrason sistemlerinde kullanılan T/R anahtarlama yapısına sahip elektronik komponentler arasında ki en güncel olan piezoelektrik transdüser sürücüler arasında hem üretim açısından stoklu olan hem de tasarım açısından uygulama notları tasarımcıya çok fazla yol gösterici kaynakları sebebi ile popüler olmaya başlamıştır. Burada AFE olarak kullanılan AD9272 ‘nin çıkışları TX7516’nın RX girişlerine bağlanmak suretiyle kullanılmıştır. TX7516’nın TX çıkışları ile doğrudan prob arayüzü sürülebilmektedir. Buradaki arayüzü oluşturan baskı devreli kartın yolları çizilirken, bağlandığı konektörler ile empedans uyumluluğuna ve diferansiyel hatların uzunluklarının eşit olmasına dikkat edilmiştir. Böylece

RX/TX tarafında gönderilip alınan elektriksel sinyale çevrilmiş olan akustik ses dalgalarındaki bilgi doğru bir zamanlama ile yorumlanarak oluşturulan 2D görüntüleme işleminin daha verimli olmasını sağlar.

## 4.1. Güç Katındaki DC/DC Dönüştürücülerin Simülasyonu

AFE'nin doğru çalışabilmesi için gerilim ihtiyacı olduğu pinlerine besleme gerilim seviyelerinin de olabildiğince filtrelenmiş ve düzgün bir seviyede gelmesi gerekmektedir.

Bu gerilim seviyelerinin değişmesi ya da gürültüye maruz kalması gibi sebepler, çevrebiriminde bulunan diğer kontrolör ve ADC gibi yapıların ihtiyacı olan referans voltaj seviyelerini de etkileyeceği için bu dönüştürücülerin üreticilerinin verdiği yöntem ve hesaplamalar ile en uygun direnç, kondansatör ve bobin değerlerinin seçilmesi gerekmektedir.

Buradaki çipler Analog Devices üreticisinden seçildikleri için analiz ve simülasyonda yine Analog Devices'a ait "EE-Sim Design and Simulation Tools" programı kullanılmıştır. Programın içerisinde yer alan kütüphanenin içerisindeki komponentlerden bu çalışma içerisinde yer alan en yakın ve muadil komponentler seçilerek gerçekleştirilmiştir.

Kullanılan DC/DC dönüştürücüler için geri besleme direnci hesaplama formülü:

$$V_{out} = 0.800V \times \left(1 + \frac{R_{top}}{R_{bot}}\right) \quad (5)$$

### 4.1.1. 5V DC/DC Dönüştürücü İçin Analiz

Analizde kullanılan direnç değerleri ve çıkış geriliminin anahtarlamalı bir şekilde bobin üzerinden sürüldüğü bobinin endüktans ve bobinin DC direnç değerleri aşağıdaki gibidir:

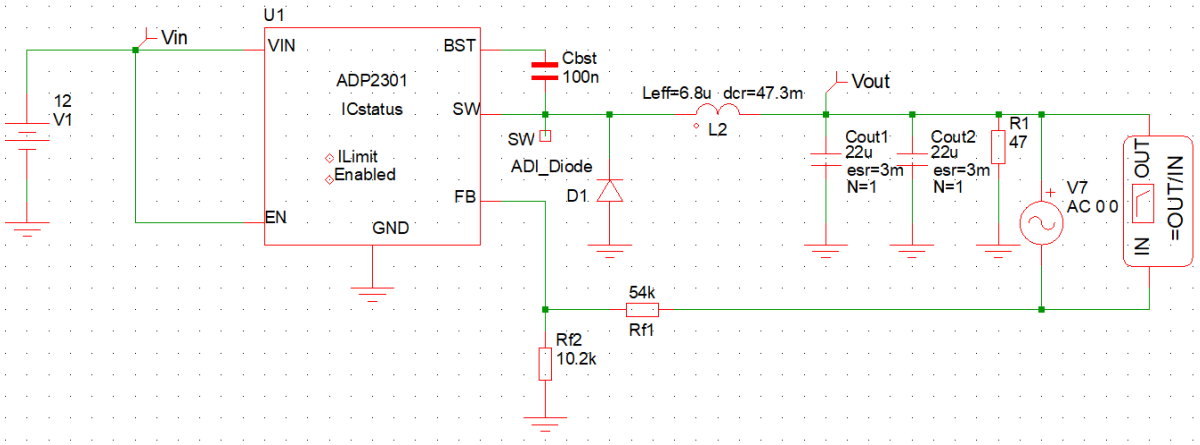
$V_{in}$ = 12 V

$R_{top}$ = 54 k

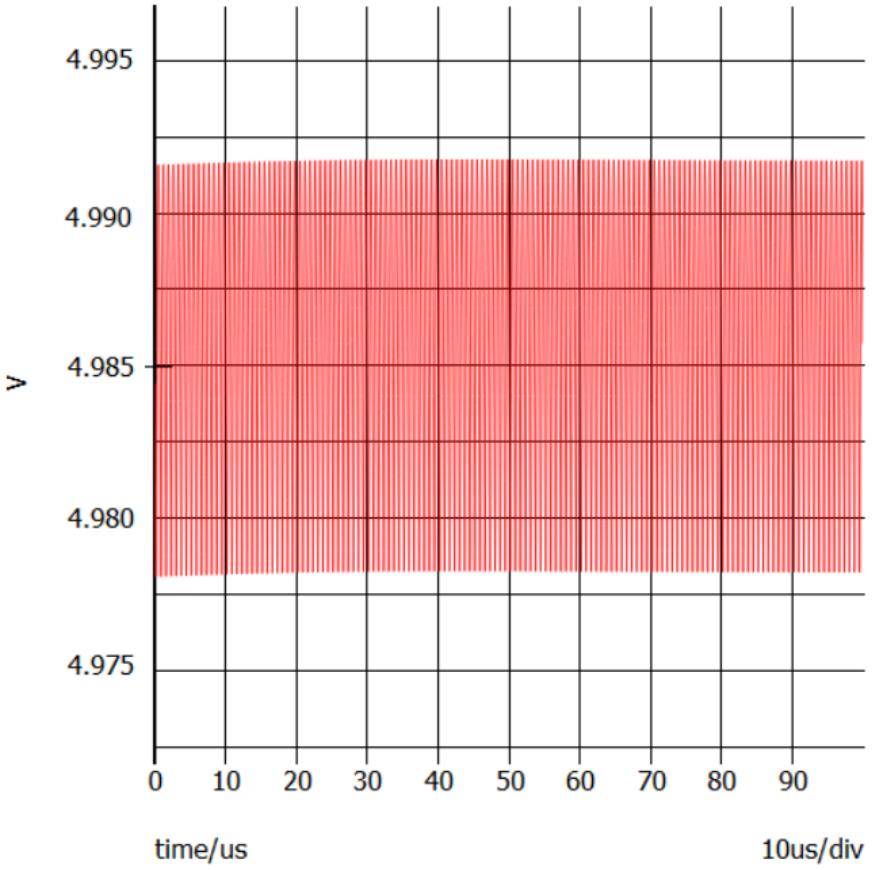
$R_{bot}$ = 10.2 k

L = 6.8 µH

$R_{DC}$ = 47.3 m




**Şekil 25: ADP2301 ile 5V DC/DC Dönüştürücü Analiz Şematiği**




**Şekil 26: ADP2301 ile 5V DC/DC Dönüştürücü Analiz Grafiği**

Simulasyonda ADP2301 çıkış geriliminin ortalama değeri 4,985367 V, gerilim dalgalılığı tepeden tepeye 150 µV olarak belirlenmiştir. Anahtarlama frekansı yaklaşık 2.2 MHz olarak ölçülmüştür.

### 4.1.2. 3.3V DC/DC Dönüştürücü İçin Analiz

Analizde kullanılan direnç değerleri ve çıkış geriliminin anahtarlamalı bir şekilde bobin üzerinden sürüldüğü bobinin endüktans ve bobinin DC direnç değerleri aşağıdaki gibidir:

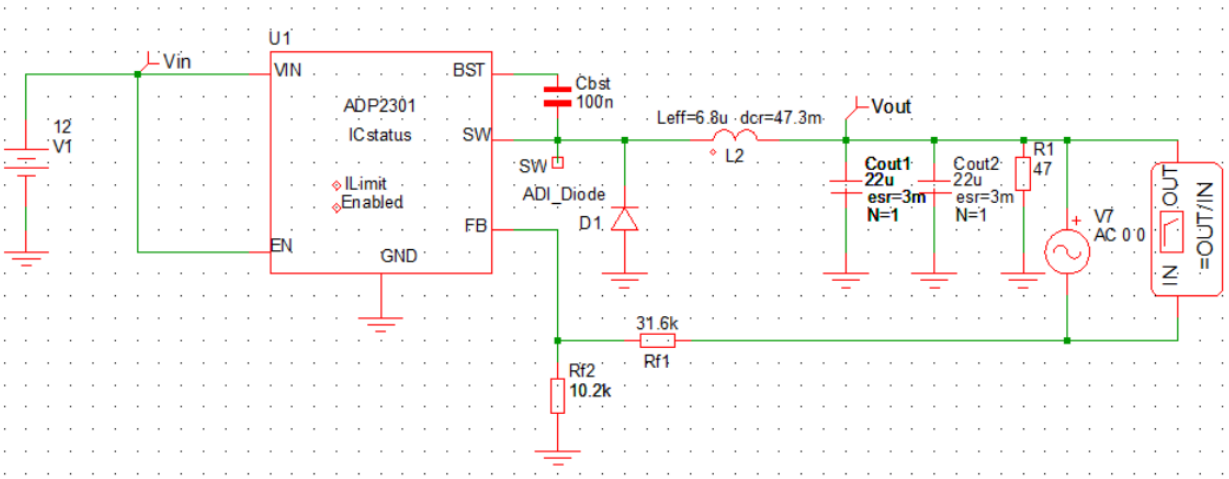
$V_{in}$ = 12 V

$R_{top}$ = 31.6 k

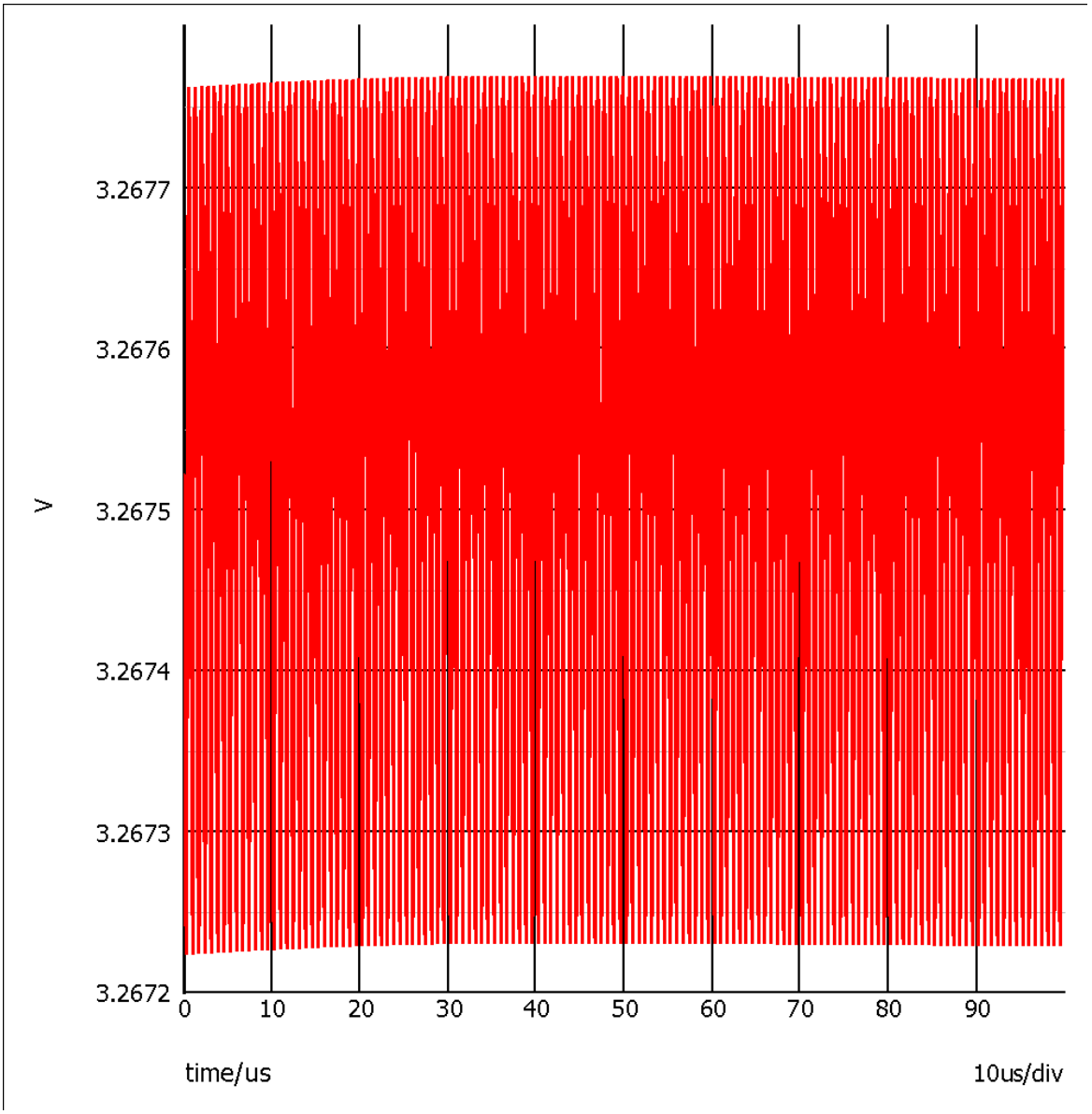
$R_{bot}$ = 10.2 k

L = 6.8 µH

$R_{DC}$ = 47.3 m




**Şekil 27: ADP2301 ile 3.3V DC/DC Dönüştürücü Analiz Şematiği**




**Şekil 28: ADP2301 ile 3.3V DC/DC Dönüştürücü Analiz Grafiği**

Simulasyonda ADP2301 çıkış geriliminin ortalama değeri 3,26750227 V, gerilim dalgalılığı tepeden tepeye 530 µV olarak belirlenmiştir. Anahtarlama frekansı yaklaşık 2.5 MHz olarak ölçülmüştür.

### 4.1.3. 3V DC/DC Dönüştürücü İçin Analiz

Analizde kullanılan direnç değerleri ve çıkış geriliminin anahtarlamalı bir şekilde bobin üzerinden sürüldüğü bobinin endüktans ve bobinin DC direnç değerleri aşağıdaki gibidir:

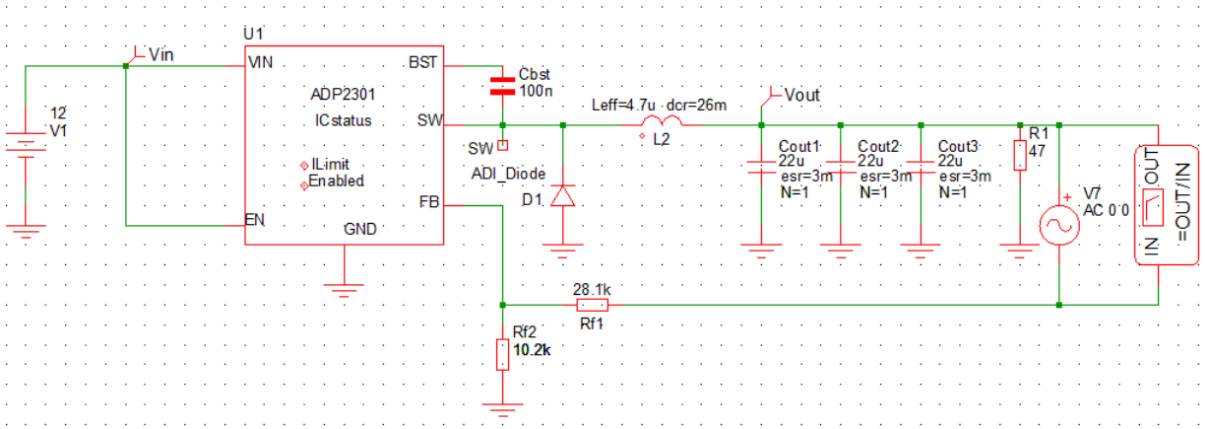
$V_{in}$ = 12 V

$R_{top}$ = 28.1 k

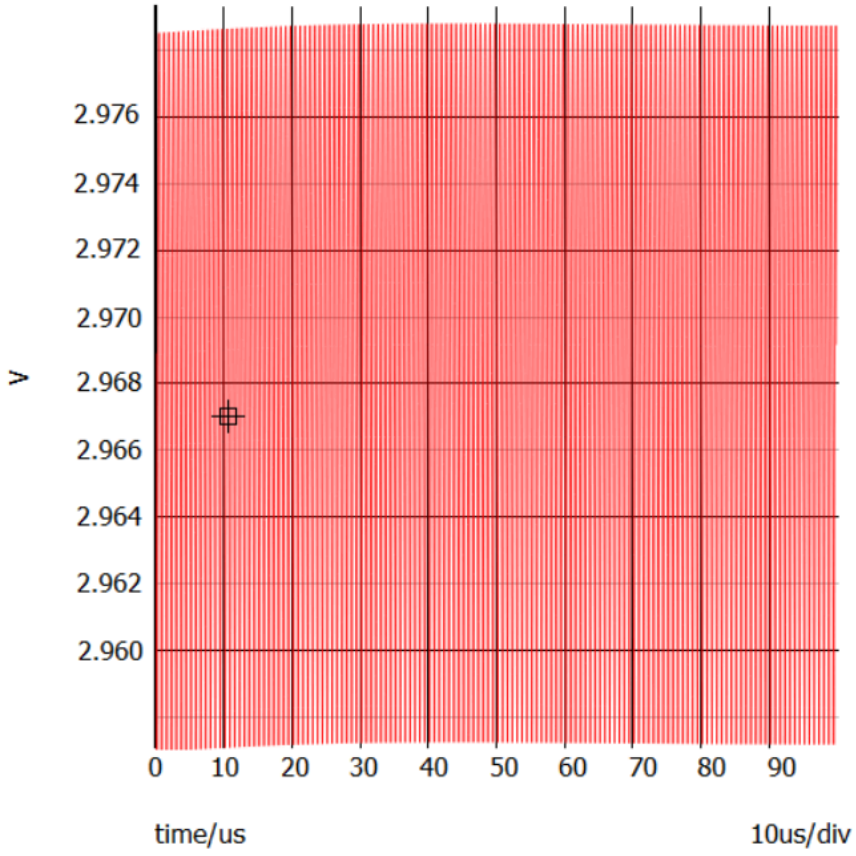
$R_{bot}$ = 10.2 k

L = 4.7 µH

$R_{DC}$ = 26 m




**Şekil 29: ADP2301 ile 3V DC/DC Dönüştürücü Analiz Şematiği**




**Şekil 30: ADP2301 ile 3V DC/DC Dönüştürücü Analiz Grafiği**

Simulasyonda ADP2301 çıkış geriliminin ortalama değeri 2,968466V gerilim dalgalılığı tepeden tepeye 260 µV olarak belirlenmiştir. Anahtarlama frekansı yaklaşık 2.55 MHz olarak ölçülmüştür.

### 4.1.4. 1.8V DC/DC Dönüştürücü İçin Analiz

Analizde kullanılan direnç değerleri ve çıkış geriliminin anahtarlamalı bir şekilde bobin üzerinden sürüldüğü bobinin endüktans ve bobinin DC direnç değerleri aşağıdaki gibidir:

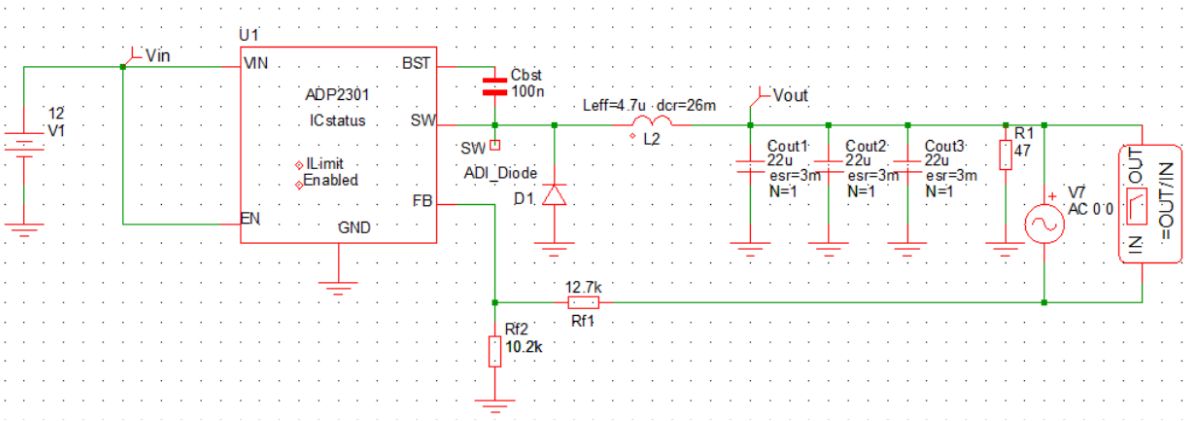
$V_{in}$ = 12 V

$R_{top}$ = 12.7 k

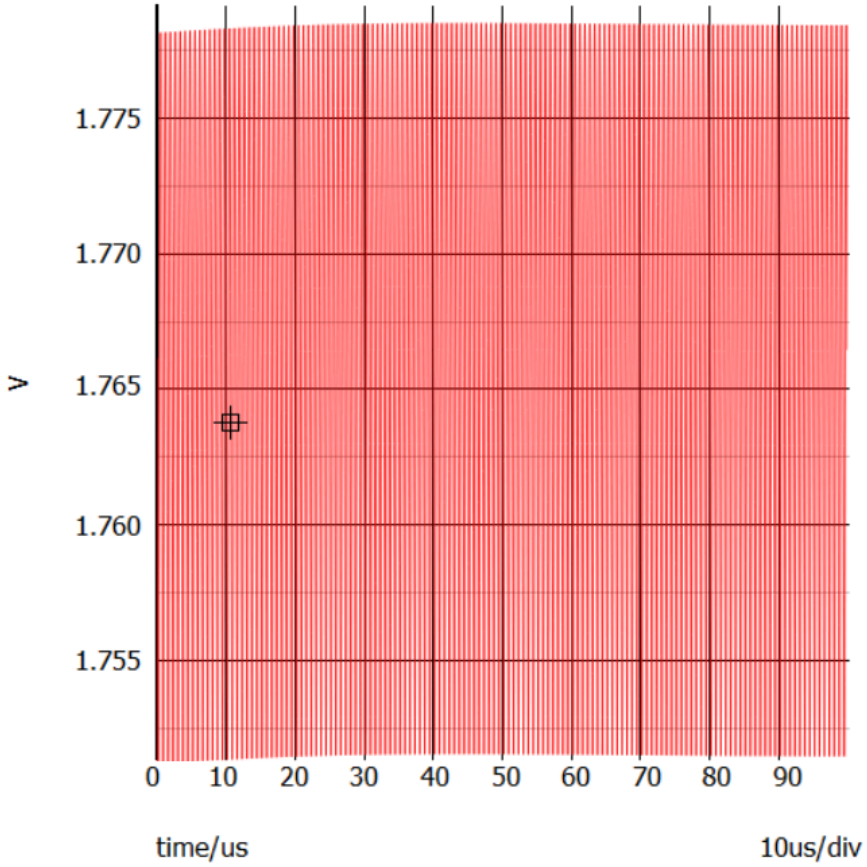
$R_{bot}$ = 10.2 k

L = 4.7 µH

$R_{DC}$ = 26 m




**Şekil 31: ADP2301 ile 1.8V DC/DC Dönüştürücü Analiz Şematiği**




**Şekil 32: ADP2301 ile 1.8V DC/DC Dönüştürücü Analiz Grafiği**

Simulasyonda ADP2301 çıkış geriliminin ortalama değeri 1,766357V gerilim dalgalılığı tepeden tepeye 270 µV olarak belirlenmiştir. Anahtarlama frekansı yaklaşık 2.7 MHz olarak ölçülmüştür.

# 5. TARTIŞMA

Ultrason cihazları için yüksek hızlı analog ön uç devre tasarımı yapılan bu uygulamada kullanılan komponentler arasında modeli bulunabilen DC/DC kademeli düşürücü entegrelerin Analog Devices üreticisine ait EE-SIM analiz programında simülasyonları gerçekleştirilmiştir. DC/DC dönüşürücüler diğer bir çok uygulamada olduğu gibi kritik bir öneme sahiptir. AFE, HV üreteci ve HV pulser için kullanılan komponentlerin besleme bağlantılarına, içerisinde barındırdığı fonksiyonelliğe göre ihtiyacı olan lojik seviye gerilimlerin düzgün seviyede regüle edilmiş bir şekilde ulaştırılması gerekmektedir. Her biri kendi içerisinde ayrı ayrı özellikle karşılaştırıcı yoğunlukta olmak üzere, zaman kazanç telafisi ve değişken kazanç yükselteci gibi özel işlevsel yükselteç bulunduran bu komponentler için içerisinde barındırdığı fonksiyonelliği doğru bir şekilde yerine getirebilmek adına kullandığı referans voltajların da üreticinin teknik özellikler dokümanında belirttiği şekilde ve seviyede verilmesi gerekmektedir.

Yapılan analizler sonucunda ise 5V, 3.3V, 3V ve 1.8V için kullanılan bu komponentlerin çalışma bölgesindeki alt ve üst sınırlara uyacak aralıkta bir DC/DC dönüştürme işlemlerinin yapıldığı bulgular bölümünde detaylı bir şekilde paylaşılmıştır. Teknolojinin çok hızlı ilerlemesi ile birlikte bu malzemelerin daha da küçülerek, güç tüketim değerlerinin azaldığı ve aynı sonuçlar için fiziksel olarak daha da küçülen ya da aynı anda daha iyi sonuçların da alınabileceği komponentler üretilmesi ve bunların kullanılması kaçınılmazdır.

AFE, HV üreteci ve HV pulser'ın iç yapısındaki özel işlevsel yükselteç yapılarının çalışırken hem veriyi işleme hem de veriyi gönderme ve alma işlevlerini yaptığı amaçları doğrultusunda çok daha keskin sonuçlar vermesini sağlayacak nitelikte çıkış gerilimlerinin direnç değerleri ile programlandığı bu DC/DC dönüştürücülerin tasarımında sabit değerli dirençler yerine %0.1 tolerans değerinden daha düşük, 1000 ppm ve üzeri çok turlu potansiyometreler kullanılarak istenilen gerilim seviyelerine daha da yaklaşılması mümkün olabilir.

Bu çalışmada kullanılan entegreler, popüler üreticiler arasından hali hazırda stoklu olan ve üretimi aktif olarak devam eden komponentlerdir. PCB 4 katmanlı çalışılmış olup, 1 katman güç hatlarını, 1 katman şase (ground) hatlarını, 2 katmanın ise sinyal hatlarını meydana

getirecek şekilde tasarım planı yapılmıştır. Prototip cihaz üretiminden sonraki seri imalat açısından mekaniğe göre ölçülerin daha da küçültülerek katman sayısının artırılmasına engel yoktur.

Prototip ürünün test amacı doğrultusunda henüz nihai ürün olarak kullanılmayacağından 1 tane proba bağlı olarak üretilmesi tercih edilmemiştir. Bu yüzden test ve deney faaliyetlerinde 8 kanallı bir probu temsil etmesi amacı ile 8 tane RX kanalı için sinyal jeneratöründen sinyalin gönderilmesi ve 8 tane TX kanalı için osiloskop üzerinden okunabilmesi için SMA konektörler kullanılmıştır. Buradaki RX/TX anahtarlama işlemlerinin yapılması harici bir FPGA geliştirme kartı üzerinden SPI ile yapılmakta olup LVDS arayüzünü de destekleyecek şekilde pinler kullanıma verilmiştir.

EMC/EMI uygunluk için kart üzerinde güç katında gerekli sınıflara ait ilave koruma devreleri yapılmıştır. Fakat bu sadece sistemin sağlıklı çalışabilmesini sağlayacak çalışma ortamındaki şebeke geriliminden etkilenmemesini destekleyecek bir niteliktir. İlave olarak çevresel faktörlerden etkilenmemesini sağlamak amacı ile PCB kartı üzerinde yüksek anahtarlama yapılan ve LVDS hattı gibi yüksek frekanslı bilgi taşıyan yolların dış etkenlerden dolayı girişime veya bozulmaya maruz kalmaması için devre yollarının etrafının bakır yol ile dönülerek EMI ekranlaması için kullanılan alüminyum kutularla kapatılması gibi iyileştirilmeler yapılabilir.

Üretim kolaylığı açısından dizgi makineleri tercih edileceğinden dolayı komponentlerin hemen hemen tamamına yakını SMD malzeme olacak şekilde seçilmiştir. Test ve deney faaliyetlerinin sonuçlarına göre tasarım iyileştirilmesi için bunların THT kılıf malzemeler ile değiştirilmesi çalışmanın fonksiyonelliğini etkilemeyecektir.

Bu çalışmada elektronik kart tasarım programı olarak kullanılan Altium Designer'ın özelliğine ait olan Ek-1'deki BOM çıkartılarak birim fiyat çalışması gerçekleştirildiğinde prototip maliyeti yaklaşık olarak 475$ mertebesindedir.

# 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında elde edilen analog ön uç tasarımı, yüksek gerilim üreteci, üretilen yüksek gerilim ile piezoelektrik transdüserin sürülebilmesini sağlayan anahtarlama yapısı ile daha sonra yapılması muhtemel ve özellikle FPGA kullanılarak LVDS üzerinden çok kanallı ADC'leri sürebilen yeni yapılar ve çalışmalar ile birleştirilerek ultrason cihazının tamamının tek bir yapı içerisinde toplanmasını sağlayacak bir ön yapı oluşturulmuştur.

Medikal görüntüleme sistemleri dışında HV üretecinin çıkış geriliminin değiştirilerek anahtarlama çıkışlarındaki piezoelektrik transdüser dışında gelecekteki farklı yapıların kullanılmasını hedefleyecek çalışmalar için de bir alt yapı olarak kullanılabileceği düşünülmektedir.

Yapılan bu çalışma hastane, klinik ya da veterinerler tarafından medikal ultrason sistemlerinin kullanımını, bakımını, düşük maliyetli ve kullanıcı dostu olmasını destekleyecek nitelikte özelliklere yer verilmeye çalışılmıştır. Türkiye'de gerek hastane ve ultrason alanında arge çalışmaları yürüten kurum ziyaretleri sırasında alınan görüşlere göre gerekse de ticari anlamda ultrason cihazı satışı gerçekleştirilen işletmelerle yapılan görüşmelere göre bunun seri üretimini, donanım ve yazılımını gerçekleştiren bir grup bulunmamaktadır. Ayrıca ultrasonik görüntüleme sitemleri hastane gibi medikal kullanım alanı dışında akışkanlar ve proses vanalarındaki çatlak ve kırıkların tespitinde kullanılmaktadır. Bu bağlamda petrokimya, doğalgaz, arıtma, gıda ve akışkan bulunan her yerde sanayinin ve vananın bulunduğu yüzbinlerce kritik çalışma noktalarında arıza tespitlerinin ve çalışma takvimlerine göre sistemlerin durmasına sebebiyet verebilecek bir arızanın önüne geçme amacı ile planlı bakım faaliyetlerinde, düşük maliyetli ve portatif bir cihaz üretimi söz konusu olabilir.

Uçak, jet motorlu savaş uçakları, insansız hava araçları ve helikopterler gibi hava araçlarında yapısal parçaların mikroskobik boyuttaki kılcal çatlaklarının tespit edilmesinde kullanılması da hedeflenmiştir.

Ayrıca FPGA tarafından kontrol edilecek arayüz tarafında kazanç ayarı gibi özelliği sayesinde analog ön uç devresine esneklik verilmiştir. Bu özelliğe FPGA ile yapılan buna

benzer uygulamalarda rastlanmamıştır [6, 15]. Bu ayarın deneysel çalışmalarda kontrollü bir şekilde değiştirilerek ses dalgasının hangi dokularda ne kadar ilerleyebildiği ile ilgili çalışmalarda tespit ve teyit edilmesine yardımcı olacağı düşünülmektedir. Bu sayede yerli bir ultrason fantom cihazı yapımında kullanılacak ekipman ve veriler ile ilgili bir yol gösterebilir.

Hem doğru akım hem alternatif akım koşullarında ve geniş bir skala altında evrensel bir besleme gerilimi ile çalışması dünyanın çeşitli yerlerinde farklı şebekelerde çalışan ya da şebeke alt yapısı bulunmayan meskun mahal dışında bir hastane ya da klinik benzeri yerlerde canlıların bu cihazı kullanmasına erişim imkanı sağlayacak çeşitlilikte besleme girişine sahip olması bu prototip cihazın yaygınlaşmasında tercih sebebi olacaktır.

Prototip çalışmanın ticari bir ürün olacağı noktada fiyatlandırma için ilk yatırım maliyetini regüle edebilecek şekilde bir birim fiyat çalışması yapılması , kullanım kolaylığı sağlayabilecek kullanıcı dostu bir arayüz ve mekanik yapısı ile ileride endüstriyel tasarımcı ile bir çalışma yapılması mümkündür.

Portatif bir tasarım çalışması olması sayesinde uygulama açısından görüntüleme modlarının değiştirilmesi, kullanımının farklı amaçlar doğrultusunda yeniden uyarlanması ya da farklı görüntüleme teknolojilerinde bir kullanım ile birlikte sunulması gibi çalışmalara evrilebilir.

# KAYNAKLAR

[1] Soylular, B., Esatoğlu, A.E., 2020, Sağlık Hizmetlerinde Stratejik Teknoloji Planlama Süreci: Teknolojik Değişim ve Yıpranma Altında Ömür Devrine Dayalı Bir Tıbbi Cihaz Plan Örneği, *Dergipark*, Cilt:23, Sayı:2

[2] T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2021, Samsun İli Taşınabilir Ultrason Cihazı İmalatı, Ön Fizibilite Raporu

[3] Jonveaux, L., Schloh, C., Meng, W., Arija, J., & Rintoul, J., 2022, Review of Current Simple Ultrasound Hardware Considerations, Designs, and Processing Opportunities, *Journal of Open Hardware*, 6(1): 3, 1–29.

[4] Roman A., Dehghanzadeh P., Pashaei, V., Abhishek, B., Bhunia, S., Mandal, S., 2018, *An Open-Source Test-Bench for Autonomous Ultrasound Imaging,* Thesis, Case Western Reserve University.

[5] Noé Amir, R., Vicente J.C., Alejandro, G.H., Rodrigo, H.A., Luciano, N.B., Tomás S.G., Alberto, S.C.J., 2018, *Improvement of Ultrasonic Pulse Generator for Automatic Pipeline Inspection,* Thesis, Academic Group of Automation and Control, Technological University of the State of Queretaro.

[6] ZHANG, D., YANG, C., JIAN, X., ZHANG, Q., CUI, Y., 2017, *A Multi-Channel A-Scan Ultrasound System For Real-Time, Non-Invasive Study Of Carotid Artery Compliance,* Thesis, Suzhou Institute of Biomedical Engineering and Technology, Chinese Academy of Sciences.

[7] Mean Well, IRM30-24 Datasheet, https://www.meanwell-web.com/en-gb/ac-dc-single-output-encapsulated-power-supply-pcb-irm--30--24.html, [Ziyaret tarihi: 15 Haziran 2023].

[8] Texas Instruments, LM2596 Datasheet, https://www.ti.com/product/LM2596.html, [Ziyaret tarihi: 6 Temmuz 2023].

[9] IPC-6012EM, IPC6012E Standartları, https://www.ipc.org/news-release/ipc-releases-ipc-6012em-medical-applications-addendum-ipc-6012e-qualification-and.html, [Ziyaret tarihi: 10 Eylül 2023].

[10] Yüksek Hızlı PCB Referans Dizayn Notları, https://ww1.microchip.com/downloads/en/Appnotes/G53065.pdf, [Ziyaret tarihi: 4 Ağusos 2023].

[11] Analog Devices, AD9272 Datasheet, https://www.analog.com/en/products/ad9272.html, [Ziyaret tarihi: 20 Nisan 2023].

[12] Senin, I.V., 2008, *Design of a High-Performance Buffered Crossbar Switch Fabric Using Netwok on Chip*, Thesis, Computer Engineering, Delft University of Technology.

[13] Microchip, HV9150 Datasheet, https://www.microchip.com/en-us/product/hv9150.html, [Ziyaret tarihi: 15 Mayıs 2023].

[14] Texas Instruments, 2022, TX7516 Datasheet, https://www.ti.com/product/TX7516.html, [Ziyaret tarihi : 10 Şubat 2024].

[15] Kim, G., Yoon, C., Kye, S., Lee, Y., Kang, J., Yoo, Y., Song, T., 2012, *A Single FPGA-Based Portable Ultrasound Imaging System for Point-of-Care Applications*, Thesis, Department of Electronic Engineering, Sogang University.

# EKLER

| Malzeme | Açıklama | Sembol | Kılıf | Adet | Birim Fiyat ($) | Fiyat ($) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 10pF | CAP CER 10PF 50V NP0 0402 | C1, C13, C14, C16, C25, C27, C28, C32, C34, C35, C37, C38, C40, C41, C43, C44 | SMD-0402C | 16 | 0,1 | 1,6 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.10uF | CAP CER 0.1UF 10V X5R 0402 | C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8, C9, C10, C11, C12, C15, C17, C18, C19, C20, C21, C22, C23, C24, C26, C29, C30, C31, C33, C36, C39, C42, C45, C46, C81, C82, C88, C89, C90, C91, C92, C95, C96, C97, C98, C99, C100, C101, C102, C104, C105, C106 | SMD-0402C | 48 | 0,12 | 5,76 |
| 1uF 16V | CAP CER 1UF 16V X7R 0805 | C47, C52 | SMD-0805C | 2 | 0,21 | 0,42 |
| 0.22uF 16V | CAP CER 0.22UF 16V X7R 0805 | C48, C49 | SMD-0805C | 2 | 0,26 | 0,52 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 22uF 16V | CAP CER 22UF 16V X5R 1206 | C50, C51 | SMD-1206C | 2 | 0,5 | 1 |
| 1uF 500V 2220 | 1 µF ±10% 500V Ceramic Capacitor X7R 2220 (5750 Metric) | C53 | CAP_2220Y5000105KXTWS2_KNO | 1 | 11,86 | 11,86 |
| 100uF 25V | 100 µF 25 V Aluminum Electrolytic Capacitors Radial, Can - SMD 360mOhm @ 100kHz 2000 Hrs @ 105°C | C54 | CAP_E101SP_PAN | 1 | 0,58 | 0,58 |
| 25SVPF330M | 330 µF 25 V Aluminum - Polymer Capacitors Radial, Can - SMD 14mOhm 5000 Hrs @ 105°C | C55 | PCAP_SVP_F12_PAN | 1 | 1,94 | 1,94 |
| EEE-FK1H471AM | 470 µF 50 V Aluminum Electrolytic Capacitors Radial, Can - SMD 5000 Hrs @ 105°C | C56 | CAP_EEE_J16_PAN | 1 | 1,93 | 1,93 |
| 0.10uF | CAP CER 0.1UF 50V X7R 0603 | C57 | SMD-0603C | 1 | 0,14 | 0,14 |
| 82nF | CAP CER 0.082UF 50V X7R 0603 | C58 | SMD-0603C | 1 | 0,1 | 0,1 |
| 0.1uF 25V | CAP CER 0.1UF 25V X5R 0603 | C59, C60, C72, C73 | SMD-0603C | 4 | 0,58 | 2,32 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 10uF | CAP CER 10UF 16V X6S 0603, CAP CER 10UF 6.3V X5R 0603 | C61, C103 | SMD-0603C | 2 | 0,4 | 0,8 |
| 10uF 25V | CAP CER 0.012UF 25V X7R 0603 | C62, C66, C74, C78 | SMD-0603C | 4 | 0,3 | 1,2 |
| 22uF 6.3V | CAP CER 22UF 6.3V X5R 0603 | C63, C64, C65, C67, C68, C75, C76, C77 | SMD-0603C | 8 | 0,4 | 3,2 |
| 10uF 16V Tantal | 10 µF Molded Tantalum Capacitors 16 V 1206 (3216 Metric) 3Ohm | C69, C70 | CAP_293D_A_VIS | 2 | 0,64 | 1,28 |
| 0.1uF | CAP CER 0.1UF 16V X7R 0603 | C71 | SMD-0603C | 1 | 0,2 | 0,2 |
| 22uF 16V | CAP CER 22UF 16V X5R 0603 | C79, C80 | SMD-0603C | 2 | 0,39 | 0,78 |
| 1µF | CAP CER 1UF 16V X5R 0603 | C83 | SMD-0603C | 1 | 0,19 | 0,19 |
| C911U102MUWDBA7317 | 1000 pF ±20% 400VAC Ceramic Capacitor Y5U (E) Radial, Disc | C84, C87 | C911B_KEM | 2 | 1,84 | 3,68 |
| 1uF 100V | CAP CER 1UF 100V X7R 1210 | C85 | SMD-1210C | 1 | 0,4 | 0,4 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 10uF 50V | 10 µF 50 V Aluminum - Polymer Capacitors Radial, Can - SMD 40mOhm 5000 Hrs @ 105°C | C86 | PCAP_SVP_C6_PAN | 1 | 1,21 | 1,21 |
| 0.1uF | CAP CER 0.1UF 10V X5R 0402 | C93, C94 | SMD-0402C | 2 | 0,1 | 0,2 |
| 520L103KT16T | CAP, CERM, 0.01 uF, 16 V, +/- 10%, X7R, 0402 | C107, C108 | 0402_065 | 2 | 1,02 | 2,04 |
| C1005X7R1H102M050BE | CAP, CERM, 1000 pF, 50 V,+/- 20%, X7R, 0402 | C135, C136, C137 | 0402 | 3 | 0,12 | 0,36 |
| MMBD4148CA | Diode Array 1 Pair Series Connection Standard 100 V 200mA Surface Mount TO-236-3, SC-59, SOT-23-3 | CR1, CR2, CR3, CR4, CR5, CR6, CR7, CR8 | SOT23_ONS | 8 | 0,19 | 1,52 |
| BZT52-B5V1S_R1_00001 | Zener Diode 5.1 V 200 mW ±1.96% Surface Mount SOD-323 | CR9 | CR_BZT52_PNJ | 1 | 0,12 | 0,12 |
| SMAJ24CA | No Description Available | CR10 | SMASeries_LTF | 1 | 0,31 | 0,31 |
| SK34 | Diode Schottky 40 V 3A Surface Mount SMC (DO-214AB) | CR11 | DIODE_SK34_DTC | 1 | 0,36 | 0,36 |
| B330B-13-F | Diode Schottky 30 V 3A Surface Mount SMB | CR12, CR13, CR14, CR15 | CR_SMB_320-345BE_DIO | 4 | 0,5 | 2 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| SMBJ20A | 32.4V Clamp 18.6A Ipp Tvs Diode Surface Mount DO-214AA (SMBJ) | CR16 | SMBJSeries_LTF | 1 | 0,42 | 0,42 |
| HSMS-2860 | No Description Available | CR17, CR18 | SOT23-3_AVA | 2 | 3,08 | 6,16 |
| EDZVT2R3.3B | Zener Diode 3.3 V 150 mW Surface Mount EMD2 | D1 | DIO_EDZV_ROM | 1 | 0,16 | 0,16 |
| Blue LED | Blue 470nm LED Indication - Discrete 3.3V 0603 _1608 Metric_ | D2, D3, D4, D5, D6, D7 | LEDC1608X65N | 6 | 0,34 | 2,04 |
| 3A 300V | 202.707001. 16-252 FUSE HOLDER 5x20 TK79 PLASTIC | F1 | Fuse Holder | 1 | 1,41 | 1,41 |
| FL2D | | FL1 | FL2D-XX-XXX | 1 | 2,4 | 2,4 |
| SMA-J-P-H-ST-EM1 | SMA Connector Jack, Female Socket 50Ohm Board Edge, End Launch Solder | J1, J2, J3, J4, J5, J6, J7, J8, J26, J28, J29, J30, J32, J33, J34, J35, J36, J37, J38, J39 | CONN_SMA-J-P-H-ST-EM1_SAI | 20 | 4,77 | 95,4 |
| TSW-104-07-G-D | No Description Available | J9 | TSW-104-07-G-D_SAI | 1 | 0,93 | 0,93 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 5000 | High Pin Count, Backplane Connectors, Receptacle, Right Angle, Through Hole, 4 Row, 120 Positions, 0 Guide Pin, 2.54mm (0.100in) Pitch | J10, J11, J12, J14, J16, J17, J18, J19, J20, J21, J22, J24, J25 | KEYSTONE_5000 | 13 | 0,1 | 1,3 |
| 500SSP1S2M2QEA | Slide Switch SPDT Through Hole | J13 | SW_500SSP1S2M2QEA | 1 | 3,66 | 3,66 |
| 282836-2 | TERM BLOCK 2POS SIDE ENTRY 5MM | J15 | CONN_282836-2 | 1 | 0,69 | 0,69 |
| 282836-3 | TERM BLOCK 3POS SIDE ENTRY 5MM | J23 | TE_282836-3 | 1 | 0,7 | 0,7 |
| TSW-103-07-G-S | No Description Available | J27 | CON3_1X3_TU_TSW | 1 | 0,44 | 0,44 |
| TX7516ALH | Five-Level, 16-Channel Transmitter with T/R Switch, and On-Chip Beamformer, ALH0144A (FCBGA-144) | J31 | ALH0144A | 1 | 62,7 | 62,7 |
| 33uH | 33 µH Shielded Drum Core, Wirewound Inductor 3.23 A 60mOhm Nonstandard | L1 | IND_DR127-330-R_EAT | 1 | 1,03 | 1,03 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| DR127-330-R | 33 µH Shielded Drum Core, Wirewound Inductor 3.23 A 60mOhm Nonstandard | L2 | IND_DR127-330-R_EAT | 1 | 1,03 | 1,03 |
| SRN6045TA-4R7M | 4.7 µH Semi-Shielded Drum Core, Wirewound Inductor 4.5 A 26mOhm Nonstandard | L3, L5 | IND_SRN6045TA_BRN | 2 | 0,54 | 1,08 |
| SRN6045-6R8Y | 6.8 µH Semi-Shielded Drum Core, Wirewound Inductor 2.8 A 47.3mOhm Max Nonstandard | L4, L6 | IND_SRN6045TA_BRN | 2 | 0,54 | 1,08 |
| BLM31PG500SN1L | 50 Ohms @ 100 MHz 1 Power Line Ferrite Bead 1206 (3216 Metric) 3.5A 15mOhm | L7 | IND_BLM31PG391SN1L_MUR | 1 | 0,32 | 0,32 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | RES SMD 0.0OHM JUMPER 1/10W 0402 | R1, R4, R8, R12, R19, R23, R28, R32, R70, R78, R79, R80, R81, R85, R88, R96, R97, R99, R100, R101, R102, R103, R104, R105, R106, R107, R108, R109, R110, R111, R112, R113, R114, R115, R116, R122, R125, R127, R128 | SMD-0402-RES | 39 | 0,1 | 3,9 |
| 49.9k | RES SMD 49.9K OHM 1% 1/10W 0402 | R2, R6, R10, R14, R21, R26, R30, R34, R87, R130 | SMD-0402-RES | 10 | 0,1 | 1 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1k | RES SMD 1K OHM 1% 1/10W 0402 | R3, R7, R11, R15, R18, R22, R27, R31, R35, R36, R40, R41 | SMD-0402-RES | 12 | 0,1 | 1,2 |
| 348 | RES SMD 348 OHM 1% 1/10W 0402 | R5, R9, R13, R16, R20, R24, R29, R33 | SMD-0402-RES | 8 | 0,1 | 0,8 |
| 10k | RES SMD 10K OHM 1% 1/10W 0402, RES SMD 10K OHM 1% 1/5W 0402 | R17, R25, R37, R38, R39, R77, R83, R84, R86, R90, R93, R94 | SMD-0402-RES | 12 | 0,1 | 1,2 |
| 1k | RES SMD 1K OHM 1% 1/8W 0805 | R42 | SMD-0805-RES | 1 | 0,1 | 0,1 |
| 43k | RES SMD 43K OHM 1% 1/8W 0805 | R43 | SMD-0805-RES | 1 | 0,1 | 0,1 |
| 100k | RES SMD 100K OHM 1% 1/8W 0805 | R44, R48 | SMD-0805-RES | 2 | 0,1 | 0,2 |
| 261k | RES SMD 261K OHM 1% 1/10W 0603 | R45 | SMD-0603-RES | 1 | 0,1 | 0,1 |
| 31.6k | RES SMD 31.6K OHM 1% 1/8W 0805 | R46 | SMD-0805-RES | 1 | 0,1 | 0,1 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2.15k | RES SMD 2.15K OHM 1% 1/10W 0603 | R47 | SMD-0603-RES | 1 | 0,1 | 0,1 |
| 200k | 200 kOhms 0.5W, 1/2W PC Pins Through Hole Trimmer Potentiometer Cermet 1.0 Turn Top Adjustment | R49 | POT_3386F | 1 | 1,89 | 1,89 |
| 7.5M | ERJ-PM8F7504V - 7.5 MOhms ±1% 0.667W, 2/3W Chip Resistor 1206 (3216 Metric) Automotive AEC-Q200, High Voltage, Pulse Withstanding Thick Film | R50 | SMD-1206-RES | 1 | 0,1 | 0,1 |
| 20k | RES SMD 20K OHM 1% 1/10W 0603 | R51, R56 | SMD-0603-RES | 2 | 0,1 | 0,2 |
| 0.022 | RES SMD 0.022 OHM 5% 1/3W 0603 | R52 | SMD-0603-RES | 1 | 0,1 | 0,1 |
| 10 | RES SMD 10 OHM 1% 1/10W 0603 | R53 | SMD-0603-RES | 1 | 0,1 | 0,1 |
| 118k | RES SMD 118K OHM 1% 1/10W 0603 | R54 | SMD-0603-RES | 1 | 0,1 | 0,1 |
| 47 | RES SMD 47 OHM 1% 1/10W 0603 | R55, R61, R62, R71, R73 | SMD-0603-RES | 5 | 0,1 | 0,5 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 26.7k | RES SMD 26.7K OHM 1% 1/10W 0603 | R57 | SMD-0603-RES | 1 | 0,1 | 0,1 |
| 53.6k | RES SMD 53.6K OHM 1% 1/10W 0603 | R58 | SMD-0603-RES | 1 | 0,1 | 0,1 |
| 100k | RES SMD 100K OHM 1% 1/10W 0603 | R59, R66, R68, R69 | SMD-0603-RES | 4 | 0,1 | 0,4 |
| 12.7k | RES SMD 12.7K OHM 1% 1/10W 0603 | R60 | SMD-0603-RES | 1 | 0,1 | 0,1 |
| 56k | RES SMD 56K OHM 1% 1/10W 0603 | R63 | SMD-0603-RES | 1 | 0,1 | 0,1 |
| 10.2k | RES SMD 10.2K OHM 1% 1/10W 0603 | R64, R65, R74 | SMD-0603-RES | 3 | 0,1 | 0,3 |
| 220 | RES SMD 220 OHM 1% 1/5W 0402 | R67 | SMD-0402-RES | 1 | 0,1 | 0,1 |
| 28k | RES SMD 28K OHM 1% 1/10W 0603 | R72 | SMD-0603-RES | 1 | 0,1 | 0,1 |
| 3.3k | RES SMD 3.3K OHM 1% 1/10W 0603 | R75 | SMD-0603-RES | 1 | 0,1 | 0,1 |
| B72214S381K101 | 620 V 4.5 kA Varistor 1 Circuit Through Hole Disc 14mm | R76 | VARS_B72214S381K101_TDK | 1 | 0,43 | 0,43 |
| 49.9 | RES SMD 49.9 OHM 1% 1/10W 0603 | R82 | SMD-0603-RES | 1 | 0,1 | 0,1 |
| 4.12k | RES SMD 4.12K OHM 1% 1/10W 0402 | R89 | SMD-0402-RES | 1 | 0,1 | 0,1 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 240 | RES SMD 240 OHM 1% 1/10W 0402 | R91, R92 | SMD-0402-RES | 2 | 0,1 | 0,2 |
| 100 | RES SMD 100 OHM 1% 1/10W 0603 | R95 | SMD-0603-RES | 1 | 0,1 | 0,1 |
| 100 | RES SMD 100 OHM 1% 1/10W 0402, RES SMD 100 OHM 1% 1/5W 0402 | R98, R123, R124, R129 | SMD-0402-RES | 4 | 0,1 | 0,4 |
| 52.3 | RES SMD 52.3 OHM 1% 1/10W 0402 | R117 | SMD-0402-RES | 1 | 0,1 | 0,1 |
| 499 | RES SMD 499 OHM 1% 1/10W 0402 | R118, R120, R121 | SMD-0402-RES | 3 | 0,1 | 0,3 |
| 33k | RES SMD 33K OHM 1% 1/10W 0402 | R119 | SMD-0402-RES | 1 | 0,1 | 0,1 |
| 10.5k | RES SMD 10.5K OHM 1% 1/10W 0402 | R126 | SMD-0402-RES | 1 | 0,1 | 0,1 |
| CRCW04021K00 JNED | RES, 1.0 k, 5%, 0.063 W, AEC-Q200 Grade 0, 0402 | R131, R132, R133 | 0402 | 3 | 0,1 | 0,3 |
| ADT1-1WT | No Description Available | T1 | CD542_MNC | 1 | 5,11 | 5,11 |
| AD9272BSVZ-65 | No Description Available | U1 | SV_100_3_ADI | 1 | 112,52 | 112,52 |
| NC7WZ07P6X | No Description Available | U2, U3 | SC-88/SC70-6/SOT-363_419B-02_ONS | 2 | 0,31 | 0,62 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| HV9150K6-G | Boost Regulator Positive Output Step-Up DC-DC Controller IC 16-QFN (3x3) | U4 | QFN16_3x3MC_MCH | 1 | 1,16 | 1,16 |
| IRF740SPBF | N-Channel 400 V 10A (Tc) 3.1W (Ta), 125W (Tc) Surface Mount D²PAK (TO-263) | U5 | D2PAK_VIS | 1 | 2,9 | 2,9 |
| BAV99BRW-7-F | Diode Array 2 Pair Series Connection Standard 75 V 150mA Surface Mount 6-TSSOP, SC-88, SOT-363 | U6 | SOT-363_DIO | 1 | 0,54 | 0,54 |
| CSD18532Q5B | N-Channel 60 V 100A (Ta) 3.2W (Ta), 156W (Tc) Surface Mount 8-VSONP (5x6) | U7 | DNK8 | 1 | 2,5 | 2,5 |
| CSD17527Q5A | N-Channel 30 V 65A (Tc) 3W (Ta) Surface Mount 8-VSONP (5x6) | U8 | DQJ8 | 1 | 1,36 | 1,36 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| LM2596DSADJG | Buck, Boost, Buck-Boost Switching Regulator IC Positive or Negative Adjustable 1.23V 1 Output 3A TO-263-6, D²Pak (5 Leads + Tab), TO-263BA | U9 | D2PAK-5_ONS | 1 | 3,37 | 3,37 |
| LTC4231CMS-1#PBF | Hot Swap Controller 1 Channel General Purpose 12-MSOP | U10 | MSOP-12_MS_LIT | 1 | 6,62 | 6,62 |
| ADP2302ARDZ | Buck Switching Regulator IC Positive Adjustable 0.8V 1 Output 2A 8-SOIC (0.154", 3.90mm Width) Exposed Pad | U11, U14 | RD_8_1_ADI | 2 | 4,84 | 9,68 |
| ADP2302ARDZ-3.3-R7 | Buck Switching Regulator IC Positive Fixed 3.3V 1 Output 2A 8-SOIC (0.154", 3.90mm Width) Exposed Pad | U12 | RD_8_1_ADI | 1 | 5 | 5 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| LT1054IS8#PBF | Charge Pump Switching Regulator IC Positive or Negative Adjustable (Fixed) 2.5V (-Vin, 2Vin) 1 Output 100mA 8-SOIC (0.154", 3.90mm Width) | U13 | SO-8_S_LIT | 1 | 15,59 | 15,59 |
| ADP2302ARDZ-5.0-R7 | Buck Switching Regulator IC Positive Fixed 5V 1 Output 2A 8-SOIC (0.154", 3.90mm Width) Exposed Pad | U15 | RD_8_1_ADI | 1 | 7,25 | 7,25 |
| ADR510ART-R2 | Shunt Voltage Reference IC Fixed 1V V ±0.35% 10 mA SOT-23-3 | U16 | RT_3_ADI | 1 | 3,31 | 3,31 |
| MP-LD30-23B12R2 | No Description Available | U17 | MP-LD30-23BXXR2_MTC | 1 | 15,77 | 15,77 |
| AD9515BCPZ | Clock Fanout Buffer (Distribution), Divider IC 1:2 1.6 GHz 32-VFQFN Exposed Pad, CSP | U18 | CP_32_2_ADI | 1 | 16,54 | 16,54 |
| AD8138ARZ | ADC Driver IC Data Acquisition 8-SOIC | U19 | R_8_ADI | 1 | 14,54 | 14,54 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| CT94EW103 | 10 kOhms 0.5W, 1/2W PC Pins Through Hole Trimmer Potentiometer Cermet 18.0 Turn Top Adjustment | VR1 | CT94EW103 | 1 | 2,33 | 2,33 |
| CB3-3C-22M1184 | 50 MHz XO (Standard) HCMOS, TTL Oscillator 5V or 3.3V Enable/Disable 4-SMD, No Lead | XTAL1 | CRYSTAL4_CB3-3C-22M1184_CTS | 1 | 1,034 | 1,034 |
| | | | | | TOPLAM FİYAT | 474,134 $ |

## İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI

Alp ÖZAL

ORİJİNALLİK RAPORU

| %12 | %12 | %3 | %11 |
|---|---|---|---|
| BENZERLİK ENDEKSİ | İNTERNET KAYNAKLARI | YAYINLAR | ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ |

BİRİNCİL KAYNAKLAR

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Submitted to The Scientific & Technological Research Council of Turkey (TUBITAK)<br>Öğrenci Ödevi | %4 |
| 2 | Submitted to Bahcesehir University<br>Öğrenci Ödevi | %3 |
| 3 | Submitted to Ataturk Universitesi<br>Öğrenci Ödevi | %3 |
| 4 | Luc Jonveaux, Carla Schloh, William Meng, Jorge Arija, Jean Rintoul. "Review of Current Simple Ultrasound Hardware Considerations, Designs, and Processing Opportunities", Journal of Open Hardware, 2022<br>Yayın | <%1 |
| 5 | www.yatirimadestek.gov.tr<br>İnternet Kaynağı | <%1 |
| 6 | Candeger, Didem. "Bloglarda kullanilan halkla iliskiler stratejileri.", Marmara Universitesi (Turkey), 2020<br>Yayın | <%1 |
| 7 | acikbilim.yok.gov.tr<br>İnternet Kaynağı | |

# ETİK KURUL İZİN YAZISI

**Uyarı:** Canlı denekler üzerinde yapılan tüm araştırmalar için Etik Kurul Belgesi alınması zorunludur.

☐ **Etik Kurul izni gerekmektedir.**

☒ **Etik Kurul izni gerekmemektedir.**

Alp ÖZAL

# KURUM İZNİ YAZILARI

**Uyarı:** Canlı ve cansız deneklerle yapılan tüm çalışmalar için kurum izin belgelerinin eklenmesi zorunludur. Gizlilik ve mahremiyet içeren durumlarda kurum adı kapatılmalıdır.

☐ **Kurum izni gerekmektedir.**

☒ **Kurum izni gerekmemektedir.**

Alp ÖZAL