

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRONİK CİHAZLARDA KABLOSUZ GÜÇ
AKTARIM TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Barış İSPİR

**Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK-ELEKTRONİK
MÜHENDİSLİĞİ**
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ertan YANIKOĞLU

Ocak 2020

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ELEKTRONİK CİHAZLARDA KABLOSUZ GÜÇ
AKTARIMI TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Barış İSPİR

Enstitü Anabilim Dalı : **ELEKTRİK-ELEKTRONİK
MÜHENDİSLİĞİ**

Bu tez ~~23.01/2020~~ tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.



**Prof. Dr.
A. Fuat BOZ
Jüri Başkanı**



**Prof. Dr.
Ertan YANIKOĞLU
Üye**



**Doç. Dr.
Cenk YAVUZ
Üye**

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Bariş İSPİR

27.12.2019

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmamın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Prof. Dr. Ertan YANIKOĞLU'na ve danışmanım olmasa da çok değerli hocam Doç. Dr. Cenk YAVUZ'a teşekkürlerimi sunarım.

En büyük destekçim ise bu stresli dönemimde beni motivasyonları ile yılmadan destekleyen çok değerli eşim ve minik kızıma minnettarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
TABLOLAR LİSTESİ.....	viii
ÖZET.....	ix
SUMMARY	x
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
BÖLÜM 3.	
KABLOSUZ GÜÇ TRANSFER YÖNTEMLERİ	7
3.1. Kablosuz Güç Yöntemleri.....	7
3.1.1. Endüktif kuplajlı güç aktarımı	7
3.1.2. Rezonans endüktif kuplajlı güç aktarımı.....	9
3.1.3. Kapasitif kuplajlı güç aktarımı	10
3.1.4. Mikrodalga güç aktarımı	10
3.1.5. Işık dalgaları ile güç aktarımı.....	11
BÖLÜM 4.	
DÜNYA'DA KABLOSUZ ŞARJ	12
4.1. Kablosuz Şarj Konsorsiyumu (WPC)	12

4.2. Kablosuz Şarj Konsorsiyumu (WPC)	12
4.3. Qi Standardı.....	13
4.4. Yenilikçi ve Uygun Maliyetli Kablosuz Şarj Tasarımları.....	14

BÖLÜM 5.

KABLOSUZ GÜÇ AKTARIMI ÖZELLİKLERİ	16
5.1. Kablosuz Şarj Çalışma Prensipleri	16
5.1.1. FSK (Frekans kaymalı anahtarlama).....	16
5.1.2. ASK (Genlik kaymalı anahtarlama).....	17
5.2. Yüksek Akım Koruması (Over – Current Protection = OCP)	18
5.3. Yabancı Nesne Algılama (Foreign – Object Detection = FOD)	18
5.4. FOD Uygulamasını İlişkin İlk Adımlar	19
5.5. FOD Yöntemleri.....	19
5.5.1. Q – faktör yöntemi	19
5.5.2. Loss balance yöntemi	20

BÖLÜM 6.

KABLOSUZ GÜÇ TRANSFERİ ÖRNEK DEVRE	21
6.1. Kablosuz Verici Devresinin Tanıtımı	21
6.2. Tasarım Dizisinin Özeti	25
6.3. Verici Entegresinin Özellikleri.....	25
6.4. Fonksiyonel Diyagram	27
6.5. Kablosuz Güç Aktarımı Aşamaları Akış Şeması	28
6.6. Seçim Aşaması	28
6.7. Ping Aşaması.....	28
6.8. Tanımlama ve Yapılandırma Aşaması	29
6.9. Anlaşma Aşaması	29
6.10. Kalibrasyon Aşaması.....	29
6.11. Güç Transfer Aşaması	29
6.12. P9242-R' nin FOD Özellikleri	30
6.13. Elektronik Devre Şeması.....	32
6.13.1. Aşırı akım sınırının ayarlanması	34

6.13.2. Düşük voltaj devre kilitleme koruması	35
6.13.3. Termal koruma	35
6.13.3.1. Harici sıcaklık algılama – TS	36
6.13.4. Gerilim demodülasyonu	36
6.13.5. Akım demodülasyonu	37
6.13.6. LC rezonans devresi	37
BÖLÜM 7.	
GÜÇ TÜKETİMİ ve TERMAL GEREKSİNİMLER	40
BÖLÜM 8.	
KART TASARIMINDA KULLANILAN ÇİZİM PROGRAMI	44
BÖLÜM 9.	
TARTIŞMA VE SONUÇ	47
KAYNAKLAR	48
ÖZGEÇMİŞ	49

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

ASK	: Amplitude shift keying
FET	: Field effect transistor
FOD	: Foreign objects detection
FSK	: Frequency shift keying
IC	: Integrated circuit
ILIM	: Over current limit
MIT	: The Massachusetts institute of technology
OCP	: Over current protection
PMA	: The power matter alliance
RF	: Radio frequency
RX	: Receiver
SCL	: Serial clock
SDA	: Serial data
TX	: Tranmitter
WPC	: Wireless power consortium
WPT	: Wireless power transmission

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Tesla'nın kablosuz güç aktarımı alanında çalışmaları.....	3
Şekil 2.2. Kablosuz güç konsorsiyumu	5
Şekil 3.1. Endüktif kuplaj	8
Şekil 3.2. Rezonans endüktif kuplaj.....	9
Şekil 3.3. Mikrodalga güç aktarımı.....	11
Şekil 4.1. Qi standardı.....	14
Şekil 5.1. FSK için diferansiyel iki-faz kodlama örneği	16
Şekil 5.2. ASK için diferansiyel iki-faz kodlama örneği	17
Şekil 5.3. Yabancı cisim algılama özelliği (FOD).....	18
Şekil 5.4. Qi ekosisteminin FOD gerekliliği.....	19
Şekil 5.5. Bir indüktör bobinin sarım yapısı	20
Şekil 5.6. Loss balance yöntemi.....	20
Şekil 6.1. Integrated Device Technology.....	22
Şekil 6.2. Kablosuz şarj sistemi	23
Şekil 6.3. Verici bobini	24
Şekil 6.4. Genel devrenin blok şeması.....	24
Şekil 6.5. Verici entegrenin pin yapısı	26
Şekil 6.6. Fonksiyonel diyagram.....	27
Şekil 6.7. WPC güç aktarım aşamaları akış şeması	28
Şekil 6.8. Ayar dirençleri	31
Şekil 6.9. Step-down konverter devre şeması	32
Şekil 6.10. Verici IC besleme voltajı ayar dirençleri	33
Şekil 6.11. 3.3V ve 1.8V lineer regülatör devresi.....	34
Şekil 6.12. Akım limiti ve FOD ayar devresi.....	35
Şekil 6.13. Giriş voltajı – zaman grafiği	35
Şekil 6.14. Harici sıcaklık algılama	36

Şekil 6.15. Gerilim modülasyonu.....	37
Şekil 6.16. Akım demodülasyonu	37
Şekil 6.17. LC rezonans devresi.....	38
Şekil 6.18. Verici devresi genel yapısı.....	39
Şekil 7.1. Verici entegresi paket resmi	40
Şekil 7.2. PCB'nin birinci katman görüntüsü	41
Şekil 7.3. PCB'nin ikinci katmanı (Toprak hattı) görüntüsü	41
Şekil 7.4. PCB'nin üçüncü katman görüntüsü	42
Şekil 7.5. PCB'nin dördüncü katmanı (Toprak hattı) görüntüsü	42
Şekil 7.6. PCB' nin 3D görüntüsü.....	43
Şekil 7.7. PCB' nin gerçek görüntüsü	43
Şekil 8.1. Altium Designer Şematik Arayüzü	44
Şekil 8.2. Altium Designer PCB Arayüzü	45
Şekil 8.3. Altium Library Loader modülü.....	45
Şekil 8.4. Design Rule Check modülü	46

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Son 15 yılda yapılmış çalışmalar	6
Tablo 3.1. Farklı kablosuz şarj tekniklerinin karşılaştırılması.....	7
Tablo 4.1. Kablosuz güç arayüz standartları.....	12
Tablo 6.1. Transmitter IC' nin pinlerinin görevleri	26
Tablo 6.2. FOD ve led seçenekleri.....	31

ÖZET

Anahtar kelimeler: Kablosuz güç aktarımı, Qi, verici, alıcı

Günümüzde elektronik cihazların artması ile birlikte bu cihazların şarj edilmeleri konusu da önemli bir noktaya gelmiştir. Elektronik cihazların şarj edilmesinde kullanılan kablolu yöntemler yavaş yavaş yerini kablosuz şarj yöntemlerine bırakmaktadır.

Elektronik cihazların kablosuz olarak birbirlerine enerji aktarmaları mümkündür. Kablosuz enerji aktarımında ana faktör olan verici (Tx) ve alıcı (Rx) blokları mevcuttur. Bu blokların birbirleri ile uyum içinde çalışması performans ve verimlilik açısından son derece önemlidir. Dünya endüstrisinin büyük, küçük bütün markalarının ortak amacı olan tüm kablosuz cihazların ve kablosuz güç kaynaklarının dünya çapında uyumluluğu üzerine oluşturulan bir Qi standardı vardır. Tezde, kablosuz şarjın verici bloğu için yapılacak olan elektronik kart tasarımı Qi standardına uygun olarak yapılarak yine Qi standardına sahip alıcı bloğuna sahip bir elektronik cihaz ile şarj edilebilmektedir.

Kablosuz güç iletim teknolojisi ile kabloların kullanımı yavaş yavaş ortadan kalkmaktadır. Böylece elektronik cihazların tüm kullanıcılar için mobilitesi, rahatlığı ve güvenliği artmaktadır. Kablosuz güç aktarımı, ara bağlantı kablolarının uygunsuz, tehlikeli veya mümkün olmadığı elektrikli cihazlara güç sağlamak için kullanışlıdır.

WIRELESS CHARGING TRANSFER DESIGN IN ELECTRONIC DEVICES

SUMMARY

Keywords: Wireless power transmission, Qi, transmitter, receiver

Nowadays, with the increase of electronic devices, the issue of their charging has come to an important point. Wired methods for charging electronic devices are gradually being replaced by wireless charging methods. It is possible to wireless charge the electronic devices. There are transmitter (Tx) and receiver (Rx) blocks, which are the main factors in wireless energy transmission. It is very important for these blocks to work in harmony with each other in terms of performance and efficiency.

There is a Qi standard which is formed on the compatibility of wireless devices with each other. In this study, this standard will be mentioned and a wireless charger that complies with this standard will be designed. Thus, the designed device will be able to charge all Qi-compatible devices..

The use of cables will be eliminated, with wireless power transmission technology. This will increase the mobility, convenience and safety of electronic devices for all users. The discomfort and danger of connection cables with wireless power transmission will be eliminated.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Elektrik enerjisinin bir güç kaynağından bir elektrik yüküne, fiziksel bir temas olmadan aktarılması, kablosuz güç aktarımı (Wireless Power Transmission = WPT) olarak tanımlanmaktadır. Kablosuz güç aktarımı (WPT), akım taşıyan kablolarla ihtiyaç duyulmaksızın, bir hava boşluğu yoluyla güç aktarımını mümkün kılar. WPT, vericiler ve alıcılar arasında bir hava boşluğu üzerinden enerji taşımak için manyetik alanları kullanır. Kablosuz enerji transferi günümüze kadar birçok farklı yol ile gerçekleştirilmiştir. Bunlardan biri, günümüzde de elektronik cihazların kablosuz şarj edilmesinde kullanılan manyetik rezonanstır. Manyetik rezonans devrelerindeki temel amaç, bobinde enerji depolayarak bu enerjiyi devrede bulunan diğer bobine aktarmaktır.

Günümüzde kablosuz güç transfer sistemleri hem ülkemizde hem dünyada büyük dikkat çekmektedir. Cep telefonlarının, tabletlerin, bilgisayarların hatta biyomedikal mobil cihazların çoğalmasıyla birlikte, bataryaların kablosuz şarj edilme ihtiyacı da git gide önemli hale gelmiştir. Yani bu teknoloji ile düşük güçlü dış fırçasından yüksek güçlü elektrikli taşıtlara kadar geniş bir ürün yelpazesine hizmet etmektedir.

2014 yılında Samsung, Apple ve Huawei gibi önde gelen akıllı telefon üreticileri, yerleşik kablosuz şarj özelliğine sahip yeni nesil cihazları piyasaya sürmeye başlamıştır. Günümüzde, kablosuz şarj teknolojisi ticari ürünlerde, özellikle de cep telefonlarında ve taşınabilir akıllı cihazlarda standart özellik olma yolunda hızla ilerlemektedir. Geleneksel şarj kablosu ile karşılaştırıldığında, kablosuz şarjın birçok avantajı vardır. Bunlardan bazıları; bağlantı kablolarındaki güçlük ortadan kalktığından dolayı kullanıcı dostluğunu arttırmaktadır. Kablosuz şarj özelliği ile farklı cihaz modelleri aynı şarj cihazını kullanabilir. Kablosuz şarj, cihazları talebe göre şarj ederek talep edilen gücü sağlayabilir böylece daha esnek ve enerji açısından

verimlidir. Tüm bunlarla birlikte, normalde kablosuz şarj, kablolu şarj ile karşılaştırıldığında daha yüksek uygulama maliyeti gerektirir. Bu tezde, uluslararası kablosuz enerji standartları ve kablosuz enerji aktarımında verici tarafındaki bir elektronik devre ile ilgili olarak kablosuz şarj sistemlerinin kapsamlı bir incelemesi yapılmıştır.

BÖLÜM 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Kablosuz güç aktarımına, ilk olarak radyo dalgaları kullanılarak girişim yapılmıştır. Radyo dalgaları ilk olarak 1864'te James C. Maxwell tarafından öngörülmüştür. 1888'de Heinrich Hertz, Maxwell' in teorisinin doğruluğunu ve bu radyo dalgalarının ışık dalgalarının kırılma, yansıma, polarizasyon gibi özelliklerini taşıdığını kanıtlanmıştır.

Nikola Tesla, kablosuz güç aktarımının mümkün ve muhtemel olduğuna inanıyordu. 200 metre yüksekliğindeki bir kuleye 3 metre çapında bir top ile bağlanmış dev bir bobin olan "Tesla kulesini" yaptı. Tesla, cihaza 300kW güç pompaladı; bobin 150kHz' de rezonansa girdi. Deney, gücün her yöne dağılmış olması nedeniyle başarısız oldu.



Şekil 2.1. Tesla'nın kablosuz güç aktarımı alanında çalışmaları

1960'larda, gücü iletmek için mikrodalgaların kullanılmasıyla ilgili çok fazla araştırma yapılmıştır. William C. Brown "rectanna" denilen şeyi yaptı. Rectanna; elektromanyetik enerjiyi doğru akıma (DC) dönüştürmek için kullanılan özel bir doğrultucu anten türüdür. Brown, radyo frekanslarını aldı ve onları doğru akıma çevirmiştir. Brown başarmıştır ama düşük verimlilikle [1]. İndüksiyon olarak güç aktarma işlemleri de yapılmıştır. Bu ilk olarak, 1894 yılında M. Hutin ve M. Le-Blanc tarafından, bir elektrikli araca güç vermek için kullanılmıştır. Ancak yanmalı motorlar daha popüler olmuş ve bu teknoloji bir süredir unutulmuştur [2].

1972'de, Auckland Üniversitesi'nden Prof. Don Otto, yoldaki vericileri ve araçtaki bir alıcıyı kullanarak indüksiyonla çalışan bir araç önermiştir [2].

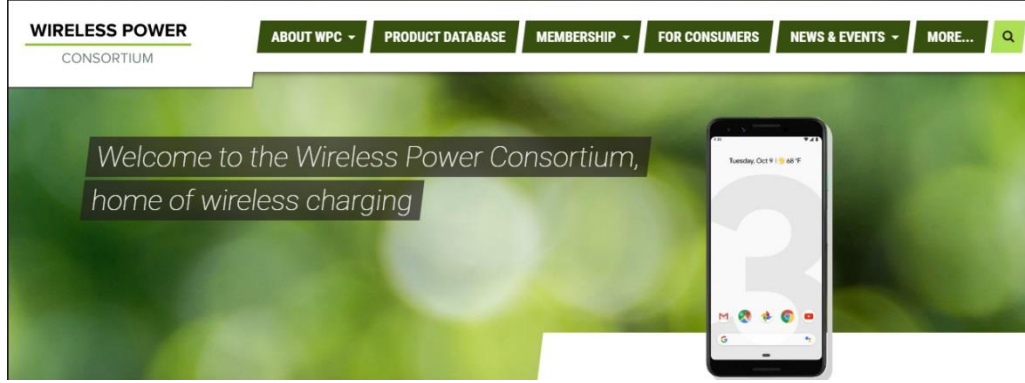
1977'de John E. Trombly' ye "elektromanyetik olarak bağlı bir akü şarj cihazı" için patent verilmiştir.

1978' de, Amerika Birleşik Devletleri'nde kullanılan ilk endüktif şarj uygulaması J.G. Bolger, F.A. Kirsten ve S. Ng. tarafından 20kW ile 180 Hz sistemle çalışan bir araçtır [2].

1980' lerde Kaliforniya' da, endüktif şarj ile çalışan bir otobüs üretilmiş ve bu süre zarfında Fransa ve Almanya' da benzer çalışmalar da yapılmıştır [2].

2006 yılında MIT, rezonans kaplin kullanmaya başlanmıştır. Birkaç metre boyunca radyasyon olmadan büyük miktarda güç iletebildiler. Bunun ticari ihtiyaç için daha iyi olduğu kanıtlandı ve endüktif şarj için büyük adım atılmıştır [2].

Kablosuz güç konsorsiyumu (WPC) 2008' de kuruldu ve 2010'da Qi standardını oluşturdular.



Şekil 2.2. Kablosuz güç konsorsiyumu

2012 yılında, The Alliance for Wireless Power (A4WP) ve The Power Matter Alliance (PMA) kurulmuştur [2].

Japonya, 2009 yılında Geniş Bant Kablosuz Formu'nu - Broadband Wireless Forum (BWF) kurmuş ve 2013'te pratik uygulamalar için Wireless Power Consortium for Practical Applications - (WiPoT) kurmuşlardır [2].

The Energy Harvesting Consortium (EHC), 2010 yılında Japonya'da da kuruldu [2].

Kore, 2011'de Korean Wireless Power Forum (KWPF) kurmuştur [2].

Kurulan bu kuruluşların hepsinin ortak amacı endüktif şarj için standartlar oluşturmaktır. Kablosuz enerji transferi adına atılan en büyük somut adım ise 2007 yılında birkaç bilim adamından oluşan WiTricity ile olmuştur. Bu bilim adamları, IP Technology ile enerjiyi %45 verimle aktarmışlardır. Temmuz 2007'de, MIT' deki bu bir grup araştırmacı, kablosuz olarak elektrik iletme yöntemini sunmuştur [2]. Bilim adamları, 60 metrelik bir ampulü iki metre mesafeden kablosuz olarak çalıştırmak için elektromanyetik olarak bağlanmış bir rezonans sistemi kullandılar. Manyetik rezonans teknolojisinin orta seviyede enerji aktarımı için uygun olduğu bulunmuş oldu. Son birkaç yılda kablosuz şarj alanında mobil cihazlar göz önünde bulundurularak çok büyük ilerlemeler gerçekleşmiştir ve gerçekleşmeye de devam etmektedir.

Endüktif güç aktarımı konusu, dünyanın her yerindeki birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir ve şu anda araştırmacılar arasındaki en önemli konulardan biridir. Verici ve alıcı arasındaki mesafe arttıkça transfer verimliliğinin azaldığı ve bu nedenle daha iyi temassız transfer kontrol mekanizması ve yüksek kaliteli metal seçimi gerektiği bilinmektedir. Literatürde yapılan araştırma sonunda kablosuz şarj ile enerji aktarımı konusunda son on beş yılda yapılmış olan çalışmalardan bazıları aşağıda verilmiştir [3].

Tablo 2.1. Son 15 yılda yapılmış çalışmalar

YIL	GÜÇ(W)	MESAFE(mm)	VERİM(%)	FREKANS(kHz)
2003	4.5	1.5	60-70	65-140
2004	24	2.4	68	950
2004	1000	30-300	90	100
2005	1.3-1.58			130
2005	30000	45		20
2006	30	100	90	38.4
2007	60	2000	40	9900
2007	0.1	15	10-20	6.78
2008	390			10
2008	12	3.5	80	418
2009	3.7		66	240
2009	60	500	60	
2009	100	200	97	15900
2009	315-522	0-2	75-83	90
2009	2000	50-80,200	85	5-50
2009	0.4-2		35	500
2010	500		89	38.4
2010	0.794	15	80	27
2010	1500	70	95	20
2010	3000-25000	10-250	71-87	20
2011	100			80
2011	12	700	50	7650
2011	220	300	95	3700
2011	6000-7000	125-254	95	48-81
2011	7	125		20
2012	5	2		115-200
2012	25.6		73.4	13560
2012	209-1403	3000-7000	95.4	20
2012	5000	246	90	20
2013	1.2	130	40	500
2013	50	300	80	3540
2013	2000	75	91	23.5

BÖLÜM 3. KABLOSUZ GÜÇ TRANSFER YÖNTEMLERİ

3.1. Kablosuz Güç Yöntemleri

Kablosuz teknolojinin şimdiye kadar çoğunlukla Wi-Fi veya Bluetooth gibi diğer standartlar aracılığıyla veri, video ve ses aktarımı için kullanılmasından dolayı, 'kablosuz' terimi veri aktarımıyla neredeyse eşanlamlı hale gelmiştir. Bununla birlikte, kablosuz teknolojinin bir diğer önemli özelliği, bir vericiden bir alıcıya güç aktarmak için elektromanyetik alanlar kullanarak aygıt pillerini şarj etme yeteneğidir. Birden fazla yöntemle güç transferi gerçekleştirilebilir. Bunlar aşağıdaki tabloda verilmiştir.

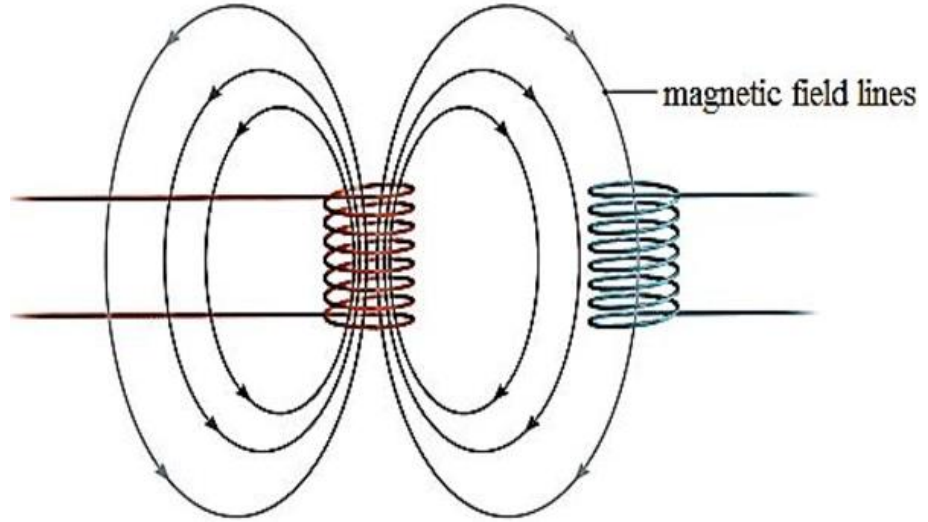
Tablo 3.1. Farklı kablosuz şarj tekniklerinin karşılaştırılması

Teknoloji	Frekans	Aralık	Anten Cihazı	Uygulamalar
Endüktif kuplaj	Hz-MHz	Kısa	Tel bobinler	Elektrikli diş fırçası ve traş bıçağı şarjı, induksiyonlu ocak
Rezonans endüktif kuplaj	kHz-GHz	Orta	Ayarlı tel bobinler, toplu eleman rezonatörleri	Taşınabilir cihazları şarj etme, biyomedikal implantların, elektrikli araçların şarj edilmesi
Kapasitif kuplaj	kHz-MHz	Kısa	Metal plaka elektrotları	Taşınabilir aygıtları şarj etme
Mikrodalgalar	GHz	Uzun	Faz diziler, rektanna	Drone uçakları, uydu

3.1.1. Endüktif kuplajlı güç aktarımı

Endüktif kuplaj ile güç transferinde güç, manyetik bir alan tarafından tel bobinler üzerinden aktarılır. Verici ve alıcı bobinler bir transformator oluşturur. Verici bobinden geçen alternatif akım, bir manyetik alan yaratır. Manyetik alan alıcı bobinden geçer, burada Faraday'ın induksiyon yasasıyla bir alternatif gerilim indükler ve alıcı da bir alternatif akım oluşturur.

İndüklenen alternatif akım, yükü doğrudan çalıştırabilir veya yükü tahrik eden alıcıdaki bir doğrultucu tarafından doğru akıma dönüştürebilir. Elektrikli diş fırçası şarjı gibi birkaç sistem 50/60 Hz' de çalışır. Böylece AC şebeke akımı doğrudan verici bobine uygulanabilir [3].



Şekil 3.1. Endüktif kuplaj

Endüktif kuplaj, en eski ve en çok kullanılan kablosuz güç teknolojisidir. Neredeyse ticari ürünlerde kullanılan tek teknolojisidir. Elektrik çarpması riskini azaltmak için, elektrikli diş fırçası ve traş makinesi gibi ıslak ortamlarda kullanılan kablosuz cihazlar için endüktif kuplaj yöntemi kullanılması tercih edilir.

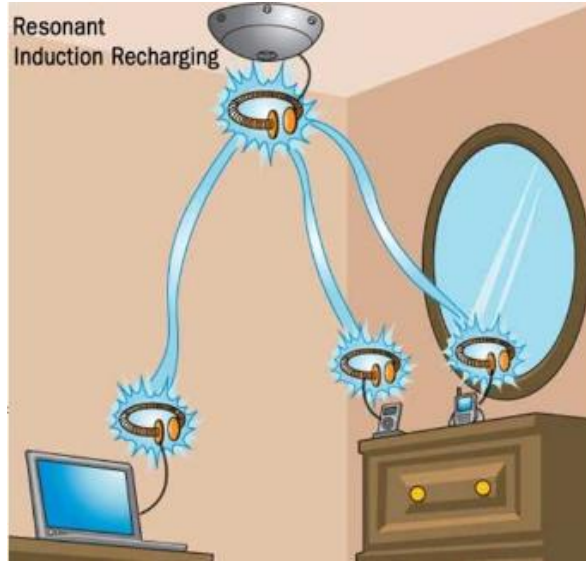
Diğer bir uygulama alanı da, kalp pilleri ve insülin pompaları gibi insan vücuduna implante edilen biyomedikal protez cihazlarının yeniden doldurulmasıdır. Bununla birlikte en hızlı büyüyen kullanım, dizüstü bilgisayar ve tablet bilgisayarlar, cep telefonları, video oyun cihazları gibi mobil ve elde taşınabilir kablosuz aygıtları şarj etmek için de bu yöntem kullanılır.

Sıradan endüktif kuplaj ancak bobinler birbirine çok yakın olduğunda, genellikle de bitişik olduğunda yüksek verimlilik sağlayabilir.

3.1.2. Rezonans endüktif kuplajlı güç aktarımı

Endüktif kuplaj ve rezonansın kombinasyonundan oluşur. Rezonans verici ve alıcının çok güçlü etkileşime girmesini sağlar. Rezonans endüktif kuplajı, gücün verici de ve alıcı da olmak üzere iki rezonans devresi arasındaki manyetik alanlarda aktarıldığı bir endüktif kuplaj şeklindedir. Her bir rezonans devresi bir kapasitöre bağlı bir tel bobinden veya iç kapasitörlü başka bir rezonatörden oluşur. Bobinler arasındaki rezonans, bağlantıyı ve güç aktarımını büyük ölçüde artırabilir.

Nikola Tesla, 20. Yüzyılın başlarında kablosuz güç aktarımı konusundaki öncü deneyleri sırasında rezonans bağımlı keşfetti, ancak arttırım menziline arttırmak için rezonans kuplajı kullanma olasılıkları yeni keşfedilmişti [3].



Şekil 3.2. Rezonans endüktif kuplaj

2007' de MIT' de Marin Soljačić liderliğindeki bir ekip, her biri 10 MHz' de 2 cm' lik kendi kendine rezonans bobin telinden oluşan iki bağlı devre kullanmış ve yaklaşık %40 verimlilikle 2 metrelik bir mesafeden 60W'lık güç aktarımı sağlamıştır [3].

Rezonans endüktif kuplaj sistemleri arka planda, yüksek Q faktörü rezonatörlerinin iç sönümlemesi nedeniyle güç kaybettiklerinden çok daha yüksek bir oranda güç alışverişinde bulunurlar. Bu nedenle, rezonans kullanılarak, yakın alanların çevresel

bölgelerinde daha zayıf manyetik alanlar kullanarak aynı miktarda güç daha uzak mesafelere aktarılabilir. Rezonans endüktif kuplaj, bobin çapının 4 ile 10 kat aralığında yüksek verimlilik sağlayabilir. Rezonans teknolojisi modern endüktif şarj teknolojisinde en yaygın olarak kullanılanıdır.

3.1.3. Kapasitif kuplajlı güç aktarımı

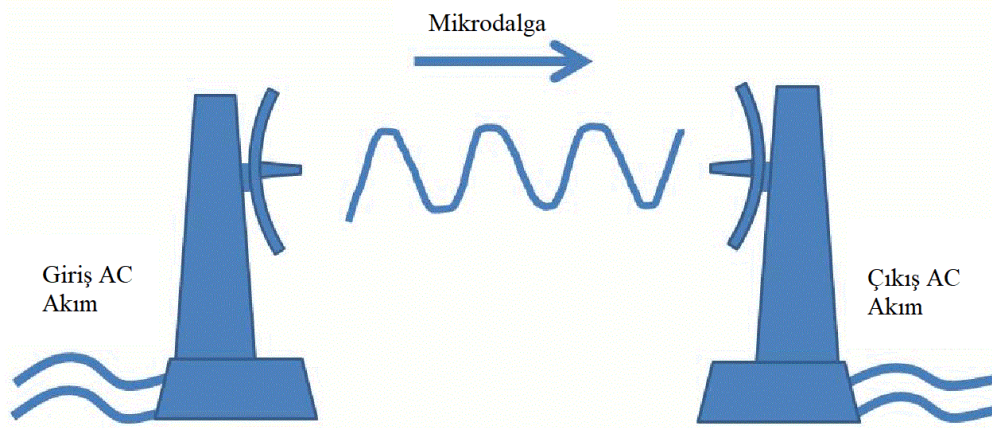
Elektrikli kuplaj olarak da adlandırılan kapasitif kuplaj, gücün aktarılması için kapasitans oluşturan iki elektrot arasındaki gücün iletimi için elektrik alanlarından yararlanır. Enerji, verici tarafındaki aktif ve pasif elektrotlar ile alıcı tarafındaki aktif ve pasif elektrotlar dikey olarak konumlandırılarak iletilir. Alıcı ve verici elektrotlar aralarına giren elektrik alanla birlikte bir kondansatör meydana getirir. Güç, indüklenmiş elektrik alan üzerinde gerçekleşir [3].

Elektik gücü, iletim modülü tarafından alternatif akıma dönüştürülür. Alıcı ve verici elektrotları tarafından oluşturulan kapasitör tarafından alıcıya iletilir. Alıcı tarafındaki doğrultucu ve voltaj dönüştürücü devreleri ile akülere sabit akım sağlanır.

Kapasitif kuplaj, yüksek güçlü uygulamalar için uygun değildir. Elektrotlara yüksek voltajlar verilmesi gerekir bu da yüksek güçlü uygulamalarda tehlikeli olabilir.

3.1.4. Mikrodalga güç aktarımı

50Hz'lik alternatif güç doğru akıma dönüştürülür. Bu doğru akım mikrodalga jeneratörünü beslemektedir. Jeneratörün içerisinde akımın geçebildiği ve mikrodalga elektromanyetik radyasyonun oluşturulduğu rezonans boşlukları vardır. Verici ve alıcı antenlerle bu dalgalar transfer edilir ve tekrar doğru akıma çevrilerek dağıtılır. Bu yöntem için çok yüksek frekanslarda çalışmak gereklidir. Her ne kadar uzun mesafelerde kabul edilebilir verimlilikte güç aktarılsa da maliyeti çok yüksek ve insan sağlığını olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle günlük hayatta pek tercih edilmemektedir [3].



Şekil 3.3. Mikrodalga güç aktarımı

3.1.5. Işık dalgaları ile güç aktarımı

Spektrumun görünür bölgesine yakın olan elektromanyetik radyasyon durumunda, güç, daha sonra fotoelektrik bir hücreye işaret edilen bir lazer ışına dönüştürerek aktarılabilir. Bu aktarımın diğer bir adı güç ışımasıdır.

Alıcı tarafında, monokromatik ışık dönüşümü için optimize edilmiş özel fotoelektrik lazer dönüştürücüler kullanılır [3].

BÖLÜM 4. DÜNYA'DA KABLOSUZ ŞARJ

4.1. Kablosuz Şarj Konsorsiyumu (WPC)

2008 yılında kurulan kablosuz güç konsorsiyumu, dünyanın dört bir yanından 600'den fazla üye şirketin işbirliğine dayalı standartlar geliştirme grubudur. WPC'nin üyeleri arasında Apple, ASUS, Belkin, Bosch, Canon, Dell, Google, Huawei, IKEA, Lenovo, LG, mophie, NXP, Panasonic, Royal Philips, Samsung, Sony, TDK ve Xiaomi bulunmaktadır. Bu markalar, endüstrinin tüm bölümlerinden ve dünya genelinde kablosuz şarj uyumluluğu konusunu ortak amaç edinip işbirliği yapan büyük ve küçük rakiplerdir. Kablosuz şarj konusunda, dizüstü bilgisayarlar, tabletler, uçaklar, robotlar ve kablosuz mutfak aletleri gibi sayısız yeni uygulama vardır. WPC, çeşitli kablosuz güç değerleri için farklı standartlar geliştirmiştir [4].

Tablo 4.1. Kablosuz güç arayüz standartları

	WPC / Qi 1.1	PMA	A4WP
Bağlantı	Sıkı	Sıkı	Gevşek
Çalışma Frekans Aralığı	100-200KHz	200-300KHz	6.78MHz
Haberleşme Şekli	Bant İçi	Bant İçi	Bant Dışı
Sistem Verimi	>%70	>%70	-

*Qi standardı, 5W - 15W güçle çalışan akıllı telefonlar ve diğer taşınabilir mobil cihazlar için,

*Akülü mutfak standardı, 200 – 2200W güçle çalışan mutfak gereçleri için,

*Orta güç standardı, 30 – 65W güçten çalışan elektrikli el aletleri için geliştirilmiştir.

4.2. Kablosuz Şarj Konsorsiyumu (WPC)

Kablolu şarj etme yaklaşımını kablosuza dönüştürmek isteyen tasarımcılar için veya sıfırdan tasarım yapmak isteyenler için bazı zorluklar vardır. Günümüzde kullanımda olan hemen hemen her şarj aleti, AC şebeke voltajını bir doğrultucu aracılığıyla doğru akıma dönüştüren anahtarlamalı bir güç kaynağı kullanır. Aslında kablosuz şarj da kablolu şarj ile genel olarak benzer şekilde çalışır.

Kablosuz şarj sistemi iki sargıdan oluşur. Birincil sargı, şarj cihazının bir parçasıdır. İkincil sargı, şarj edilen cihazın içindedir. Kablosuz şarj cihazındaki bu değişimle terminoloji değişir ve birincil taraf 'verici', ikincil taraf 'alıcı' olur. Sargılar ayrıldığı için bağlantı kablolu şarj cihazından daha zayıftır. Bununla birlikte, bazı temel kriterler karşılanabilirse, şarj cihazı ve cihazın hizalanması, bobinlerin boyutu ve bobinlerin boyutuna göre bobinler arasındaki mesafe, o zaman iyi bir bağlantı elde edilebilir ve yüksek bir verimlilikle güç aktarılabilir.

Kablosuz şarj tasarımcıları manyetik sorunların dışında, verimlilik ve elektromanyetik uyumluluk (EMI) gibi konularda da çeşitli zorluklarla karşılaşılıyor. Bunların da ötesinde metalik yabancı cisimlerin şarj sistemine dahil olması da başka bir zorluktur. Genel olarak son tüketici, daha hızlı şarj için daha yüksek güç değerleri ve birden fazla cihaza hizmet verme yeteneği gibi verimli ve tasarımı kolay vericiler istemektedir. Herhangi bir güç çözümünde, termal yönetim kritiktir ve modern taşınabilir cihazlara, özellikle giyilebilir cihazlara uyacak küçük tasarımlar sunma ihtiyacından dolayı daha zor hale getirmiştir.

4.3. Qi Standardı

Kablosuz şarj çözümlerinde tipik olarak 3 ana unsur vardır. Bunlar; verici, alıcı ve güç kaynağıdır. Genel olarak bir adaptör vasıtasıyla vericiye (transmitter) güç verilir. Genel olarak 5V ile 20V arasında bir doğru akım kaynağından çıkan güçtür. Aynı verici manyetik alan oluşturmak için doğru akımı alternatif akıma dönüştürmek zorundadır. Bunun içinde MOSFET tabanlı invertörler kullanır. Gereken esnekliği ve işlevselliği sağlamak için, MOSFET sürücü bileşenleri bir mikrodenetleyici tarafından kontrol edilir.

Qi standardı (endüktif) şu anda dünyadaki en yaygın kablosuz şarj standardıdır. 110-205 kHz aralığında çalışır. Qi standart uyumlu çözümlerinin yanı sıra, özellikle 15 Watt'ın üzerindeki watt sınıfları için özel endüktif tasarımlar da mevcuttur. Kablosuz Güç Konsorsiyumu (WPC), kablosuz şarj için Qi standardını destekliyor ve sürekli yeni özellikler geliştiriyor [4].

Teknik açıdan, Qi endüktif bir standarttır. Bu teknoloji standart tek bobinli endüktif şarj vericisini kullanır. Qi standardı, en basit ve en yaygın çözümdür, tek bir verici bobininden oluşur. Alıcının şarj edilmesi için cihazın dikkatli bir şekilde konumlandırılması gerekir ve bir seferde yalnızca bir alıcı cihazını şarj edebilir. Bu, cihazın doğrudan şarj cihazındaki bobin üzerine yüklenmesini gerektirir ve tek bir cihaza güç vermek için sınırlandırılmıştır.



Şekil 4.1. Qi standardı

Rezonans teknolojisi, yakın bir alanda şarj etme deneyimine sahip ve “bırak ve başlasın” olanağı sunar. Endüktif çözümler karşısında önemli kullanıcı deneyimi avantajları sunar.

Standart uyumlu rezonans çözümleri, bluetooth iletişimine sahip cihazlar, için mühendisler AirFuel Alliance'ın teknik özelliklerini kullanabilirler. AirFuel, rezonans ve kablosuz teknolojileri içeren geniş bir teknoloji platformuna sahiptir. AirFuel'in ayrılmaz teknolojisi, radyo frekansına (RF) dayanır. Aktarma gücü, birden fazla cihazın daha büyük mesafelerde şarj edilebilmesine olanak tanır.

4.4. Yenilikçi ve Uygun Maliyetli Kablosuz Şarj Tasarımları

Kablosuz şarj cihazını tasarlamak her şeyden önce akıllara verimlilik açısından durum nedir sorusunu getirmektedir. Cihaz tasarımını yaparken, yüksek verimlilik elde etmek için mutlak surette uyulması gereken bazı kurallar vardır. Yüksek

verimlilik elde ederken de güvenlik ve kullanıcı deneyimi göz ardı edilmemelidir. Verimliliği yüksek tutmak için en önemli etkenlerden biri de antenlerin etkileşimidir. Bununla birlikte çevresel faktörler de dikkate alınarak güç iletiminin nasıl uygulanacağı çok önemlidir.

Kablosuz güç aktarım yönetiminde, ana zorlukların başında Qi ekosistemi içerisinde sertifikalı olmayan ve potansiyel olarak tehlikeli görünen çözümlerden korumak için FOD (yabancı cisim algılama) özelliği kullanılır. FOD, iyi ve güvenli bir kullanıcı deneyimi sağlamak için güvenilir bileşenlere ve gelişmiş yöntemlere ihtiyaç duyar. Kaliteli bileşenler bant içi iletişimde önemli bir rol oynamaktadır. Rezonans olayı tamamen kapasiteler ve ileri FET teknoloji ile ilgilidir. Yüksek verimlilik için, yüksek performanslı sürücü IC' leri önemli bir rol oynamaktadır [5]. FOD, özelliği ve IC özelliklerine aşağıda daha ayrıntılı yer verilecektir.

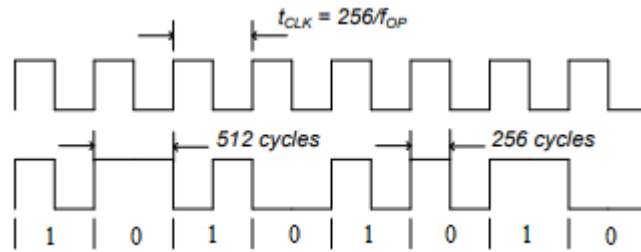
BÖLÜM 5. KABLOSUZ GÜÇ AKTARIMI ÖZELLİKLERİ

5.1. Kablosuz Şarj Çalışma Prensibi

Bir kablosuz güç şarj sistemi, DC - AC çevirici kullanarak gücü indüktör çifti üzerinden mobil cihazdaki bir alıcıya aktaran bir baz istasyonuna sahiptir. Mobil cihaza aktarılan güç miktarını arttırmak, azaltmak veya korumak için vericiye iletişim paketleri göndererek kablosuz güç alıcı tarafından kontrol edilir. Alıcıdan vericiye iletişim tamamen digitaldir ve verici (Tx) ile alıcı (Rx) bobini arasında gerçekleştirilir. Vericiden alıcıya iletişim, güç sinyali frekansı üzerinden, frekans kaymalı anahtarlama (FSK) modülasyonu ile sağlanır. Alıcıdan vericiye iletişim protokolü için ise genlik kaymalı anahtarlama (ASK) ile sağlanır.

5.1.1. FSK (Frekans kaymalı anahtarlama)

Taşıyıcı sinyalin frekansının dijital sinyale göre değiştiği dijital modülasyon tekniğidir. Bu tez çalışmasında da vericiden alıcıya olan iletişim, güç sinyali frekansı üzerinden frekans kaydırmalı anahtarlama yöntemi ile gerçekleşir. Şekil 5.1.'de iki faz kodlama örneği verilmiştir.



Şekil 5.1. FSK için diferansiyel iki-faz kodlama örneği

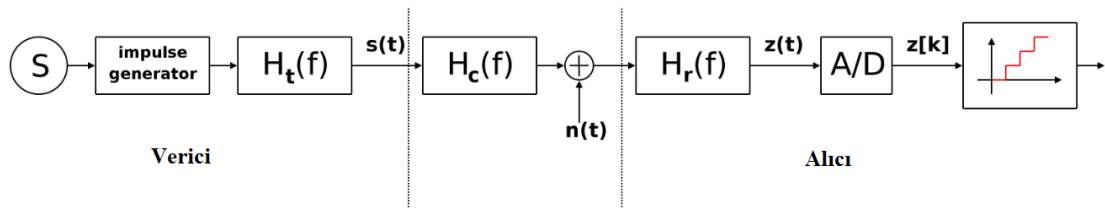
Tasarlanan elektronik kartta kullanılan verici IC, FSK verilerini güç frekansından modüle etme güç alıcısıyla iletişim kurma için çeşitli araçlara sahiptir. Bu verici IC, WPC ya da Qi uyumlu cihazlarla birlikte kullanıldığında FSK iletişimi gerçekleşir. FSK iletişim protokolü, alıcıya veri göndermesini sağlar [6].

5.1.2. ASK (Genlik kaymalı anahtarlama)

Bir sinyalin genliği içindeki varyasyonlar şeklinde ikili verileri temsil eden bir genlik modülasyon türüdür.

Bir ASK sisteminde, ikili sembol, sabit genlikli bir taşıyıcı dalga ve sabit frekansın T saniyelik bir süre boyunca iletilmesiyle temsil edilir. Sinyal değeri 1 ise, taşıyıcı sinyal iletilecektir; aksi takdirde, 0 sinyal değeri iletilecektir [7].

Herhangi bir dijital modülasyon şeması, dijital verileri temsil etmek için sınırlı sayıda farklı sinyal kullanır. ASK, her biri benzersiz ikili basamak deseni atanmış sınırlı sayıda genlik kullanır. Genellikle, her genlik eşit sayıda bit kodlar. Her bit kalıbı, belirli bir genlikle temsil edilen sembolü oluşturur. Şekil 5.2.'de ASK için bir örnek blok şema verilmiştir.



Şekil 5.2. ASK için diferansiyel iki-faz kodlama örneği

Kablosuz şarj sisteminin bir özelliği de güç sağlamadığında vericinin bekleme modunda olmasıdır. Verici bekleme modunda beklerken bir alıcının varlığını algılayana kadar düzenli aralıklarla ping atar.

5.2. Yüksek Akım Koruması (Over – Current Protection = OCP)

Bir elektrik enerjisi sisteminde, aşırı akım, amaçlanandan daha büyük bir elektrik akımının mevcut olduğu, aşırı ısı oluşumuna ve yangın riskine yol açan durumdur. Kablosuz şarj tasarımında da aşırı akım koruması (OCP), potansiyel olarak sistemden beklenmeyen bir davranış ya da hasara neden olabilecek durumlarda, kablosuz alıcı ünitesinin zarar görmesini önlemek için tasarlanmıştır. Bu doğrultuda giriş akımı, güç aktarımı sırasında sürekli izlenir. Giriş akımı ayarlanmış yüksek akım sınır eşliğinin üzerine çıktığında ise IC (integrated circuit), anahtarlama frekansını arttırır veya giriş akımını OCP değerinin altında tutmak için görev döngüsünü azaltır.

5.3. Yabancı Nesne Algılama (Foreign – Object Detection = FOD)

Bir yabancı cisim girişimi olduğunda otomatik olarak gücü kesen bir güvenlik mekanizmasıdır. Buna örnek olarak madeni para, ataç v.b. gibi metal nesnelere verilebilir. Kablosuz şarjda, kablosuz güç aktarım sistemine yaklaşan metal nesnelere elektromanyetik alanın bir bölümüyle eşleşir ve ısınabilir. Sistemin etrafındaki yabancı cisimlerin tespiti ve doğabilecek tehlikelere karşı sistemin durdurulması bu noktada önemlidir. Yani alıcı ve verici arasında herhangi bir yabancı nesne girdiğinde sistem bunu algılayacak ve artık manyetik alan üretmeyecektir. Bunu algılama yöntemi; alıcı ve verici arasındaki güç ihtiyacı-güç akışı arasında bir kıyas yapacak ve ihtiyaçtan fazla bir akış olduğunu tespit etmesi durumunda bunu arada yabancı cisim var olarak algılayacak ve otomatik olarak manyetik alan üretmeyi kesecektir. Şekil 5.3.'de yabancı cisimlere örnek teşkil eden bir resim verilmiştir.



Şekil 5.3. Yabancı cisim algılama özelliği (FOD)

5.4. FOD Uygulamasını İlişkin İlk Adımlar

Qi ekosisteminin geliştirmesinin başlarında, vericinin elektromanyetik alanının istenmeyen sonuçlarla istenmeyen nesnelere zarar verebileceği fark edildi. Verici ile mobil cihaz arasına yerleştirilen madeni para, ataç, folyo parçaları gibi küçük metal nesnelere birkaç saniye içinde 100 ° C'ye kadar ısınabilir. Bu durum da cep telefonuna kalıcı olarak zarar verebilir ya da cilt yanıklarını meydana getirebilir. WPC, 2010 yılında Yabancı Nesne Tespiti özelliğini başlatarak bu güvenlik özelliğini 2011 yılında zorunlu kıldı. Şekil 5.4. Qi ekosisteminin FOD gerekliliğini gösteren bir resimdir.



Şekil 5.4. Qi ekosisteminin FOD gerekliliği

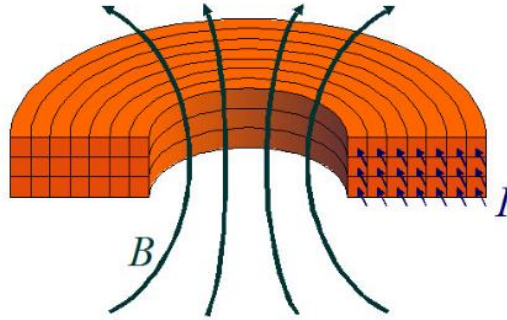
5.5. FOD Yöntemleri

5.5.1. Q – faktör yöntemi

Fizik ve mühendislikte kalite faktörü veya Q – faktörü, bir osilatörün ne kadar zayıf olduğunu tanımlayan boyutsuz bir parametredir. Q faktörü alternatif olarak, bir osilatörün merkez frekansının salınımlı bir sürüş kuvvetine maruz kaldığında bant genişliğine oranı olarak tanımlanmaktadır.

Güç aktarımdan önce, Q – faktörü ölçmek için Tx bobininden küçük bir sinyal alanı oluşturulur. Ölçülen değer, şarjı etkinleştirmek için kriter olarak kullanılır ve daha sonra iletilen referans değerlerle karşılaştırılır. Q faktörü, Rx tarafından rapor edilen

Q faktörü tarafından belirlenen eşikten düşükse, FO tespit edilmiş olur. Bu yöntem güç aktarımından önce FO'yu tespit edebilir [8]. Şekil 5.5.'de bir indüktör bobinin sarım yapısı verilmiştir.

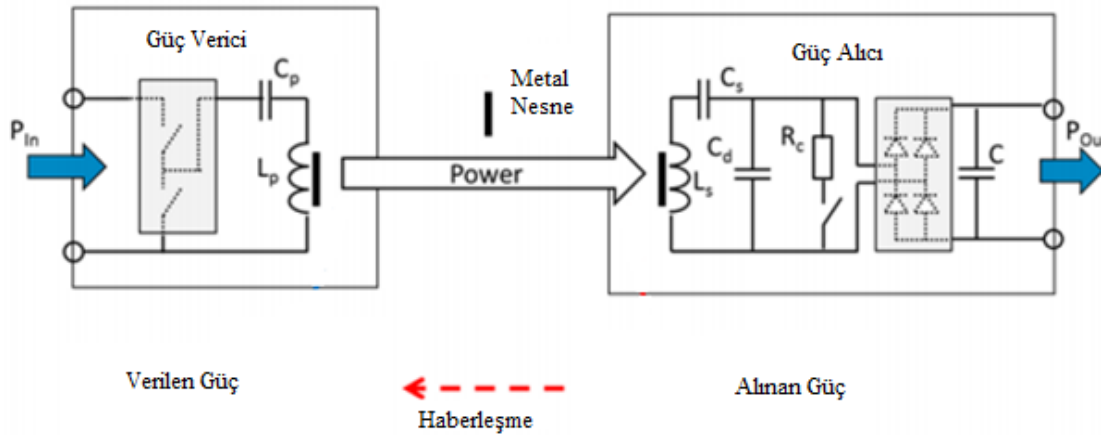


Şekil 5.5. Bir indüktör bobinin sarım yapısı

5.5.2. Loss balance yöntemi

Güç aktarımı esnasında, verici Rx için mevcut gerçek gücü belirler.

- Güç girişi ölçülür,
- Bilinen tüm Tx kayıpları hesaplanır,



Şekil 5.6. Loss balance yöntemi

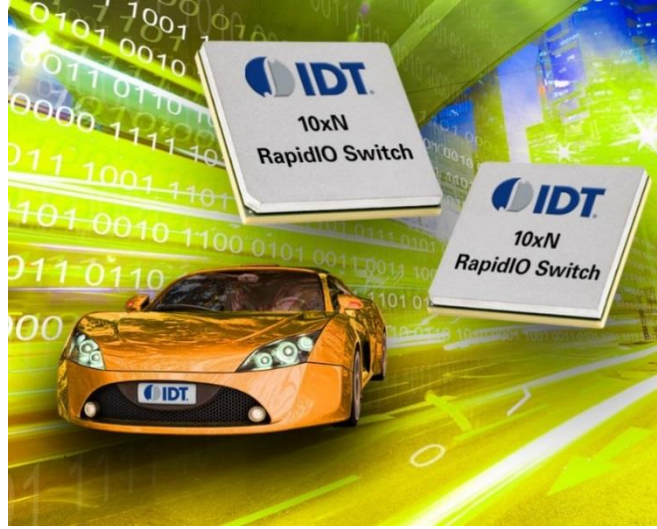
Şekil 5.6.'da loss balance yöntemi anlatan resim görülmektedir. Normalde, verimlilik için, Tx çok yüksek bir kalite faktörüne sahiptir. Tx bobininin resistansı ve kayıpları çok düşük, kapasitörler COG özelliğinde seçilmiş ve transistörler çok küçük seçilirse kalite faktörü çok yüksek olacaktır.

BÖLÜM 6. KABLOSUZ GÜÇ TRANSFERİ ÖRNEK DEVRE

6.1. Kablosuz Verici Devresinin Tanıtımı

Bu tez çalışmasında IDT (Integrated Device Technology) firmasının üretimi olan kablosuz şarj teknolojisinin ana bloklarından olan verici (transmitter) entegre devresi (Integrated Circuit = IC) kullanılarak elektronik bir devre tasarımı yapılmıştır. Bu devre tasarımını ayrıntılı olarak açıklamadan önce kullanılan IC' nin üreticisi olan IDT firmasından kısaca bahsedilecektir.

Integrated Device Technology (IDT) şirketi müşterilerinin çalışmalarını optimize eden düzeyde çözümler geliştirmektedir. IDT'nin ürün yelpazesi arasında; RF, bellek ara yüzü, optik bağlantı, kablosuz güç ve akıllı sensörler, tüketici elektroniği ve otomotiv sektörleri yer almaktadır. IDT firmasının dünya çapında tasarım, üretim, satış ve dağıtım ortakları bulunmaktadır. Şirket 1980 yılında Kaliforniya' da kurulmuştur. Kablosuz güç aktarımı alanında entegre devreler tedarik eden pazar lideri konumunda bir şirkettir [9]. Aşağıdaki resim (Şekil 6.1.) IDT firmasının amblemini gösteren bir resimdir.



Şekil 6.1. Integrated Device Technology

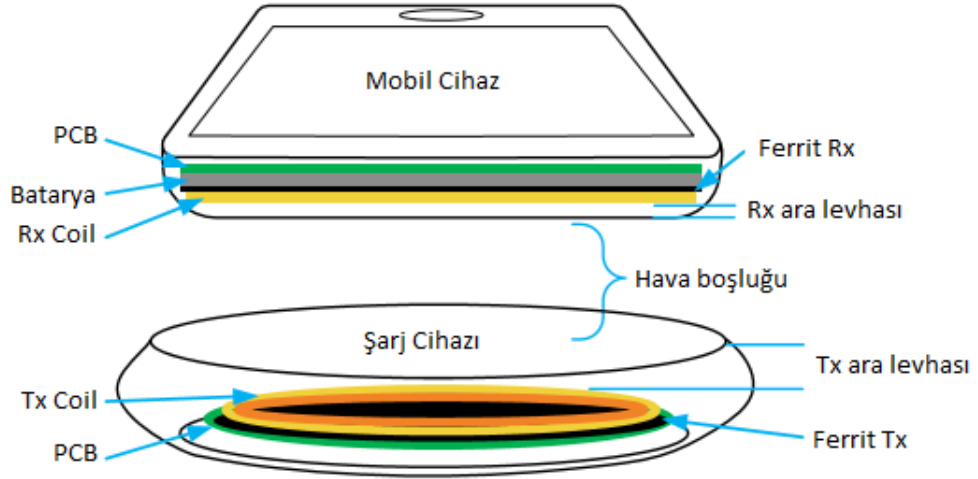
Kablosuz güç aktarımı, bir hava çekirdekli transformatörün iki ayrı yarısı (bir verici pedi ve bir cep telefonu gibi bir mobil alıcı cihazı) kullanılarak gerçekleştirilir. Sürekli bir alıcı olmadığından, kablosuz güç aktarma sistemlerinin performansını tahmin edebilen doğru matematiksel modeller oluşturmak ve tüm gerçek kullanım durumlarını temsil etmek zordur. Standart karşılıklı endüktans hesaplamaları kullanılarak kaba tahminler yapmak mümkündür, ancak çoğu zaman sınırlı kaynaklar veya zaman nedeniyle, bu tahminler kullanılacak olan gerçek bobinlerin fiziksel geometrilerini hesaba katmaz. Hesaplanması zor olan diğer zorluklar, nihai sistem verici ve alıcı tasarımları için gerekli olan demir malzemeler tarafından tüketilecek manyetik kayıplar ve enerjidir.

Kablosuz güç tasarımlarının izleyebileceği en belirgin iki endüktif rezonans standardı, Wireless Power Consortium'un Qi ("Chi") ve AirFuel (önceki iki standart grubun birleşimi: PMA ve A4WP)'dur. Qi ve PMA, 110kHz - 300kHz frekans aralığında çalışan tasarımları gerektirir. Tipik olarak, 5VDC, 12VDC ve 18VDC giriş gerilimlerine sahiptir [4].

Genel olarak, giriş voltajı ne kadar yüksek olursa, Tx bobini endüktansı o kadar yüksek olur ve sistemin Tx tarafı tipik olarak 100kHz' de rezonansı almak için tasarlanmıştır. Aktarılan güç miktarını kontrol etmek için çalışma frekansı ayarlanır

ve her zaman Tx, LC tankının rezonans frekansının üstünde tutulur. Rezonansa doğru bir frekans değişikliği (frekanstaki azalış) daha fazla güç iletilmesine neden olur ve rezonanstan aksine doğru bir değişim (frekanstaki artış) alıcıya daha az güç iletilmesine neden olur.

Tx bobininin merkezine yakın bir yere Rx bobini yerleştirildiğinde, manyetik bir bağlantı oluşur ve enerjiyi Tx' ten Rx cihazına aktarır. İletilen gücü kontrol etmek için alıcı, gelen AC manyetik alanını modüle ederek verici ile iletişim kurar, bu, karşılıklı iletişim boyunca yansıyan ve Tx tarafından tespit edilebilen Rx empedans enerji aktarımında değişikliklere neden olur. Rx, güç seviyelerini ayarlamak veya güç aktarımını sonlandırmak ve geçerli aygıtları doğrulamak için kullanılan bir dizi dijital iletişim mesajı gönderir.



Şekil 6.2. Kablosuz şarj sistemi

Sistemin en önemli kısımları Tx ve Rx bobinleridir ve bunlar ara yüze bakacak şekilde konumlandırılmıştır. Sistemin etkinliğini en üst düzeye çıkarmak için, Tx ve Rx cihazlarının arasında haberleşmenin sağlanabilmesi için 2 ila 4 mm aralığında mesafe olması gerektiği göz önünde bulundurulmuştur.

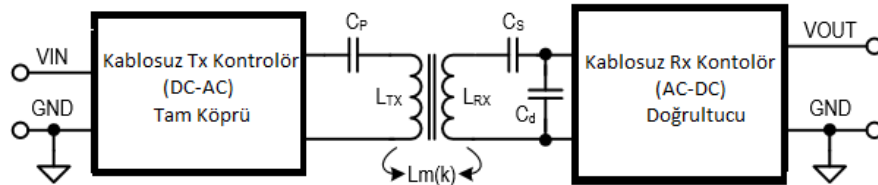
Genel olarak, Tx bobin tasarımları, uygun Tx bobini ve rezonans kapasitörlerini belirlemek için bir tasarım yapılırken göz önünde bulundurulması gereken WPC ve PMA şartnameleri iyi incelenmiştir. Standart bobinler kolayca temin edilebilir. Yaygın olarak kullanılan sistem, $6.3\mu\text{H}$ Tx bobini ve ortalama 400nF rezonans kapasitörleri ile 5V DC giriş voltajı kullanılarak çalıştırılır. Bobinde oluşan manyetik alanı korumak ve sistem verimini arttırmak için yüksek geçirgenliğe sahip ferrit bir levha kullanılır.



Şekil 6.3. Verici bobini

Kablosuz güç sisteminin ana bileşenleri, bir DC güç kaynağını AC gücüne çevirip, AC gücünü toplayan bir Tx rezonans tankına ve oluşturulan AC gücünü toplayan Rx tankına ve pili şarj etmek için Rx tankında depolanan AC gücünü tekrar DC'ye çeviren entegre devrelerdir.

Şekil 6.4.'de, kablosuz şarjda kullanılan Tx ve Rx kontrolörleri temel bloklara indirgenerek gösterilmiştir. Tx kontrol ünitesi bir DC - AC çevirici ve iletişim demodülatörüdür. Rx denetleyicisi bir AC -DC doğrultucu ve iletişim üreticisidir.



Şekil 6.4. Genel devrenin blok şeması

6.2. Tasarım Dizisinin Özeti

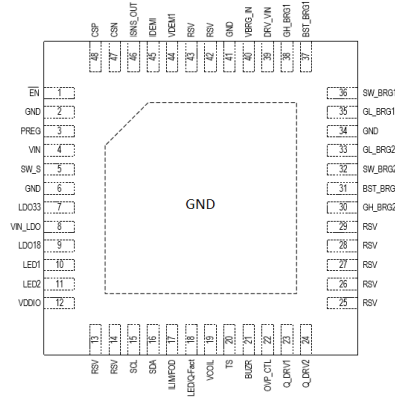
- Sistem ile kullanılacak en uygun Tx seçilmiştir. (WPC A11)
- Tx bobin endüktansı ve COG kondansatörleri rezonansın dışında olacak şekilde Tx rezonansı ayarlandı.
- Optimum rezonans kapasitansını bulmak için Cp, 47nF ile 100nF arasındaki değerlerden hassas bir şekilde seçildi.

6.3. Verici Entegresinin Özellikleri

Tasarlanan elektronik kartta IDT firmasının ürünü olan P9242-R kullanılmıştır. P9242-R, WPC - 1.2 spesifikasyonuna uygun olarak üretilmiştir. P9242-R, 15W'a kadar güç sağlayabilen manyetik indüksiyonlu kablosuz güç vericisidir. Ürün bekleme modunda çok küçük güç tüketimine sahiptir. 4.25V – 21V aralığında geniş bir giriş voltaj aralığına sahiptir.

P9242-R verici içerisinde ARM Cortex®-M0 işlemcisine sahiptir. Verici, yabancı nesne algılama (FOD), tam köprü sürücüleri ve eşzamanlı voltaj ve akım demodülasyonu içermektedir. Verici aynı zamanda programlanabilir akım sınırlaması ve led kombinasyonuna sahiptir. Gerilim, akım ve arıza gibi bilgileri geri okumak için I2C seri arayüz protokolünü kullanır. P9242-R 6x6mm 48 pinli VFQFPN kılıfıyla yerden tasarruf sağlamaktadır. Aynı zamanda -40 °C ile +85 °C çalışma sıcaklığına sahiptir [10]. Şekil 6.5.'de verici entegresinin pin yapısı verilmiştir. Diğer Özellikleri;

- Dahili step-down anahtarlama regülatörü içerir,
- Harici güç FET'leri için dahili sürücüler içerir,
- Kullanıcı tarafından programlanabilen yabancı cisim algılama (FOD),
- Yüksek akım ve yüksek sıcaklık koruması,



Şekil 6.5. Verici entegrenin pin yapısı

Tablo 6.1. Transmitter IC' nin pinlerinin görevleri

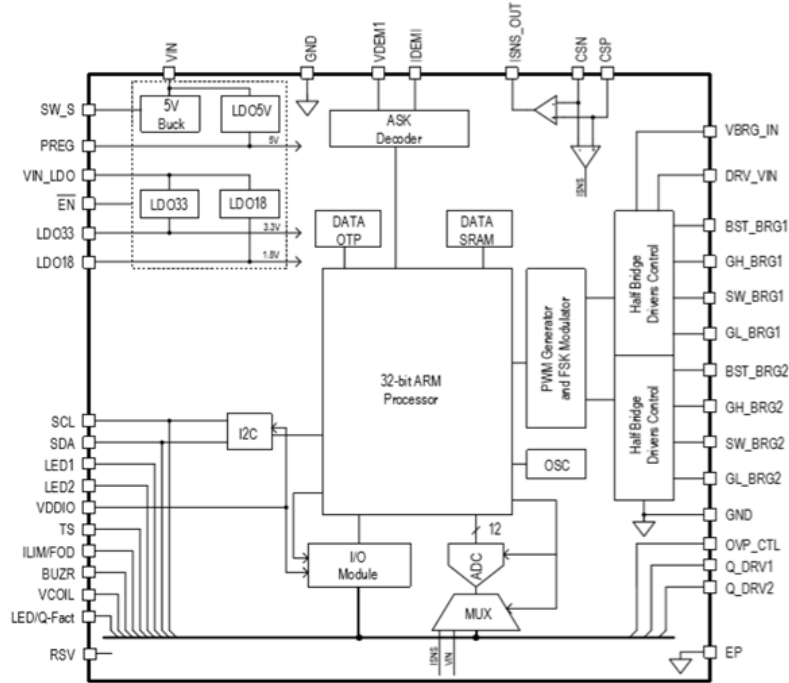
Pinler	Ad	Tip	Görev
1	EN	Giriş	Düşük mod aktiveleştirme pimi
2, 6, 34, 41, EP	GND	-	Toprak bağlantıları
3	PREG	Çıkış	Dahili regüleli 5V
4	VIN	Giriş	Giriş güç kaynağı
5	SW_S	Çıkış	Step-down regülatörün anahtar düğümü
7	LDO33	Çıkış	Dahili regüleli 3.3V
8	VIN_LDO	Giriş	Doğrusal regülatör giriş güç kaynağı
9	LDO18	Çıkış	Dahili regüleli 1.8V
10	LED1	Çıkış	Tahliye çıkışı
11	LED2	Çıkış	Tahliye çıkışı
12	VDDIO	Giriş	Dahili giriş güç kaynağı
15	SCL	Giriş	I2C arayüzü saat girişi
16	SDA	Giriş/Çıkış	I2C arayüzü veri girişi ve veri çıkışı
17	ILIM/FOD	Giriş	Programlanabilen aşırı akım sınırı ve yabancı nesne algılama
18	LED/Q-Fact	Giriş	Programlanabilir LED deseni ve Q – faktörü etkinleştirme / devre dışı bırakma
19	VCOIL	Giriş	Bobin voltajı algılama girişi
20	TS	Giriş	Aşırı sıcaklıkla kapatma için sıcaklık sensör girişi
21	BUZR	Çıkış	Buzzer çıkışı
22	OVP_CTL	Giriş/Çıkış	VCOIL pimi için aşırı voltajı tespit etmek amacıyla voltajı azaltmak için kullanılan güç aktarım pimi
23	Q_DRV1	Giriş/Çıkış	Q faktörü ölçüm devresi için kontrol sinyali.
24	Q_DRV2	Giriş/Çıkış	Q faktörü ölçüm devresi için kontrol sinyali.
13, 14, 25, 26, 27, 28, 29, 42, 43	RSV		Dahili kullanım için ayrılmıştır.
30	GH_BRG2	Çıkış	Yarım köprü 2'nin yüksek taraf FET'i için kapı sürücüsü çıkışı.
31	BST_BRG2	Giriş	Yarım köprü 2 için önyüklemeye pimi
32	SW_BRG2	Çıkış	Yarım köprü 2 için anahtarlama pimi
33	GL_BRG2	Çıkış	Yarım köprünün 2 düşük tarafı FET için kapı sürücüsü çıkışı

Tablo 6.1. (Devamı)

35	GL_BRG1	Çıkış	Yarım köprünün 1 düşük tarafı FET için kapı sürücüsü çıkışı
36	SW_BRG1	Çıkış	Yarım köprü 1 için anahtarlama pimi
37	BST_BRG1	Çıkış	Yarım köprü 1 için önyükleme pimi
38	GH_BRG1	Çıkış	Yarım köprü 1'nin yüksek taraf FET'i için kapı sürücüsü çıkışı
39	DRV_VIN	Giriş	Dahili kapı sürücülerini için giriş güç kaynağı
40	VBRG_IN	Giriş	Voltaj giriş algısı
44	VDEM1	Giriş	Yüksek geçişli filtre girişi. Bobin voltaj değişimini temel alan veri paketleri için voltaj demodülasyon pimi; güç alıcısı tarafından iletilir.
45	IDEMI	Giriş	Yüksek geçişli filtre girişi. Bobin akımı varyasyonuna dayalı veri paketleri için geçerli demodülasyon pimi; güç alıcı tarafından iletilir.
46	ISNS_OUT	Çıkış	Giriş akımı çıkış algısı
47	CSN	Giriş	Düşük taraf giriş akım algısı
48	CSP	Giriş	Yüksek taraf giriş akım algısı

6.4. Fonksiyonel Diyagram

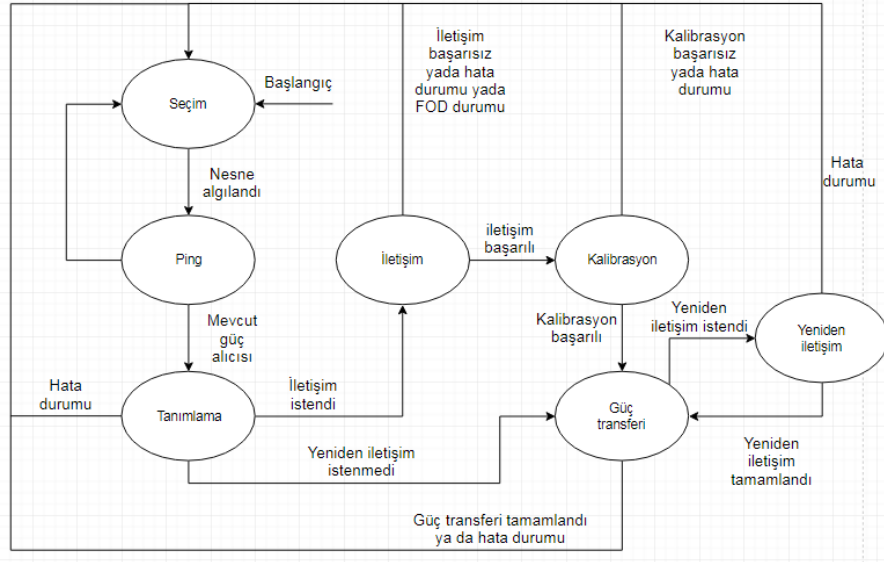
Şekil 6.6.'da verici entegresinin iç blok şeması gösterilmiştir.



Şekil 6.6. Fonksiyonel diyagram

6.5. Kablosuz Güç Aktarımı Aşamaları Akış Şeması

WPC 1.2 genişletilmiş güç profil şartnamesi, haberleşme, kalibrasyon ve yeniden haberleşme aşamalarına sahiptir.



Şekil 6.7. WPC güç aktarım aşamaları akış şeması

6.6. Seçim Aşaması

Seçim aşamasında, güç verici cihazı bir alıcı cihazın yerini tespit ettikten sonra ping aşamasına geçip geçmeyeceğini belirler. Bu aşamada, güç verici küçük bir ölçüm sinyali kullanarak alıcı cihazların yerleştirilmesi ve uzaklaştırılması için verici ve alıcı arasındaki arayüzü kullanılır. Bu ölçüm sinyali, arayüz yüzeyine yerleştirilmiş güç alıcısını uyandırmayacak kadar küçüktür [10].

6.7. Ping Aşaması

Ping aşamasında, güç vericisi gücü iletir ve olası bir güç alıcısında gelen yanıtı algılar. Bu yanıt ile güç vericisi bilinmeyen bir nesne ile ilgilenmek yerine bir güç alıcı ile ilgilenmesini sağlar.

WPC Qi uyumlu bir güç alıcısı yerleştirildiğinde, güç vericisine yanıt verir. Dahili bir ön gerilim voltajı belirli bir eşik seviyesinden büyük olduğunda, WPC iletişim protokolü alıcı gücünü başlatmak için etkinleştirilir.

Eğer güç vericisi doğru bir sinyal gücü paketi alırsa, güç sinyal çıkışını koruyarak güç transferinin tanımlanması ve konfigürasyon aşamasına ilerler [10].

6.8. Tanımlama ve Yapılandırma Aşaması

Tanımlama ve yapılandırma aşaması, ilgili güç alıcısını belirlemek ve varsayılan bir güç aktarım anlaşması oluşturmak için güç vericisinin yürüttüğü protokolün bir parçasıdır. Bu protokol, güç alıcısının ilgili bilgiyi iletmesini sağlamak için dijital ping' i genişletir. Bu aşamada, güç verici kendisini tanımlar ve varsayılan bir güç aktarma anlaşması için bilgileri alır [10].

6.9. Anlaşma Aşaması

Anlaşma aşamasında, güç alıcısı güç aktarım sözleşmesine ince ayar yapmak için güç vericisi ile görüşür. Güç alıcısı, güç vericisinin verebileceği veya reddedebileceği iletişim isteklerini gönderir. Ek olarak, yabancı cisimlerin olup olmadığına ilişkin ilk değerlendirmesini geliştirmek için, güç vericisi güç alıcısı tarafından rapor edilen kalite faktörünü kendi ölçümü ile karşılaştırabilir. Güç vericisi yabancı bir cisim tespit ederse, seçim aşamasına geri dönmelidir [10].

6.10. Kalibrasyon Aşaması

Kalibrasyon aşamasında, güç alıcısı güç vericisinin, güç aktarımı sırasında yabancı cisimleri algılama yeteneğini geliştirmek için kullanabileceği bilgiler sağlar [10].

6.11. Güç Transfer Aşaması

Verici entegre bazı kontrol paketlerini kullanarak güç transferini kontrol eder.

- Hata paketleri
- Alınan güç paketi (FOD)
- Güç aktarım sonu paketi

Tanımlama ve yapılandırma aşaması tamamlandıktan sonra verici güç aktarım aşamasını başlatır. Alıcının kontrol devresi, doğrultucu voltajın verimliliğini arttırmak ve gereken seviyeyi ayarlamak için ve yabancı cisim tespitini (FOD) güvenli bir şekilde garanti altına almak için vericiye hata paketleri gönderir. Güç aktarım sonu paketleri gönderildiğinde verici güç aktarımını sonlandırır [10]. Verici entegresinin kayıtları, SCL ve SDA pinlerindeki I2C arayüzü üzerinde okunur.

6.12. P9242-R' nin FOD Özellikleri

Madeni para, anahtar ve ataç gibi metalik nesnelere manyetik alanlara maruz kaldığında, yani Tx ve Rx bobinleri arasına girdiklerinde, nesne üzerinden geçen akım artar. Bu da nesnenin ısınmasına sebep olur. Üretilen ısının miktarı, manyetik alanın genlik ve frekansına bağlıdır. Ayrıca direnci, boyutu ve şekline göre değişir.

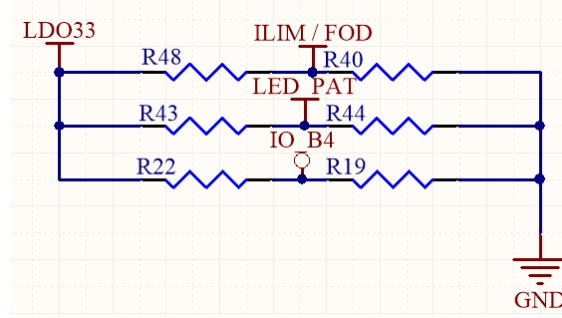
Herhangi bir kablosuz güç sisteminde, girdap akımının ürettiği ısı genel sistem verimliliğini azaltan bir güç kaybı olarak kendini gösterir. Uygun önlemler alınmazsa bu ısınma güvenli olmayan durumlara yol açacaktır.

Güç aktarım aşamasına girmeden önce P9242-R' nin yüzeyine bir kablosuz veya metal bir nesne yerleştirildiğinde bobinin kalite faktöründe bir değişiklik tespit edilir. Verici, Q faktörünü ölçer ve alıcı tarafından sağlanan referans Q faktörü ile karşılaştırır. Karşılaştırma sonucundaki fark referans faktörden yüksekse, P9242-R IC' si bu farkı bir FOD olarak kabul eder ve sistemi kapatır.

Bu tez çalışmasından kullanılan verici entegresi özellik olarak FOD özelliğini aktif ya da deaktif olmak üzere iki farklı seçenek ile çalıştırma şansı sunmaktadır. Bu iki

ayrı özellik elektronik şema üzerinde bulunan R40 ve R41 dirençleri ile yapılabiliyor.

Yine bu çalışmada kullanılan iki adet led ile cihazın çalışma durumları farklı led fonksiyonları ile programlanabilir şekilde tasarlanmıştır.



Şekil 6.8. Ayar dirençleri

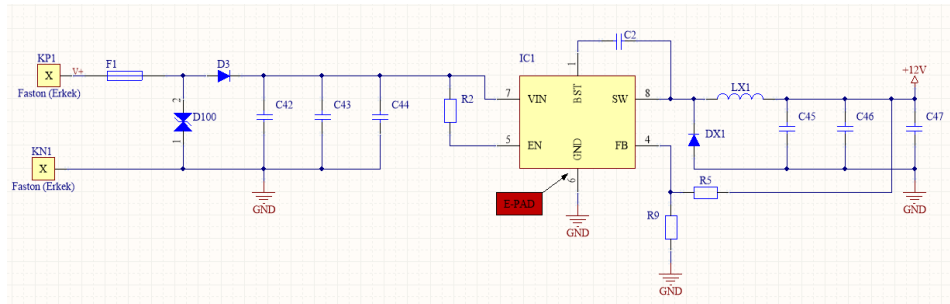
Tablo 6.2. FOD ve led seçenekleri

	Seçenek	O – Fact / LED	R40 [kΩ]	R41 [kΩ]	LED1 / LED2	Bekleme	Güç Aktarımı	Dolu	Hata
Aktif	1	Pull – Down	Açık	10	LED2	Kapalı	Açık	Kapalı	Kapalı
					LED1	Kapalı	Kapalı	Kapalı	Blink 4 Hz
	2	0.225V	10	0.732	LED2	Açık	Açık	Kapalı	Kapalı
					LED1	Açık	Kapalı	Kapalı	Blink 4 Hz
	3	0.375V	10	1.27	LED2	Kapalı	Blink 1Hz	Açık	Blink 4 Hz
					LED1	Kapalı	Kapalı	Kapalı	Kapalı
	4	0.525V	10	1.87	LED2	Kapalı	Açık	Kapalı	Blink 4 Hz
Deaktif					LED1	Kapalı	Kapalı	Kapalı	Kapalı
	5	0.675V	10	2.55	LED2	Açık	Blink 1Hz	Açık	Kapalı
					LED1	Açık	Kapalı	Kapalı	Blink 4 Hz
	6	0.825V	10	3.32	LED2	Kapalı	Kapalı	Açık	Kapalı
					LED1	Kapalı	Açık	Kapalı	Blink 4 Hz
	7	Pull – Up	10	Açık	LED2	Kapalı	Blink 1Hz	Açık	Kapalı
					LED1	Kapalı	Kapalı	Kapalı	Blink 4 Hz
Deaktif	1	1.125V	10	5.11	LED2	Kapalı	Açık	Kapalı	Kapalı
					LED1	Kapalı	Kapalı	Kapalı	Blink 4 Hz
	2	1.275V	10	6.34	LED2	Açık	Açık	Kapalı	Kapalı
					LED1	Açık	Kapalı	Kapalı	Blink 4 Hz
	3	1.425V	10	7.68	LED2	Kapalı	Blink 1Hz	Açık	Blink 4 Hz
					LED1	Kapalı	Kapalı	Kapalı	Kapalı
	4	1.575V	10	9.09	LED2	Kapalı	Açık	Kapalı	Blink 4 Hz
Deaktif					LED1	Kapalı	Kapalı	Kapalı	Kapalı
	5	1.725V	10	11	LED2	Açık	Blink 1Hz	Açık	Kapalı
					LED1	Açık	Kapalı	Kapalı	Blink 4 Hz
	6	1.875V	10	13	LED2	Kapalı	Kapalı	Açık	Kapalı
					LED1	Kapalı	Açık	Kapalı	Blink 4 Hz
	7	2.025V	10	15.8	LED2	Kapalı	Blink 1Hz	Açık	Kapalı
					LED1	Kapalı	Kapalı	Kapalı	Blink 4 Hz

6.13. Elektronik Devre Şeması

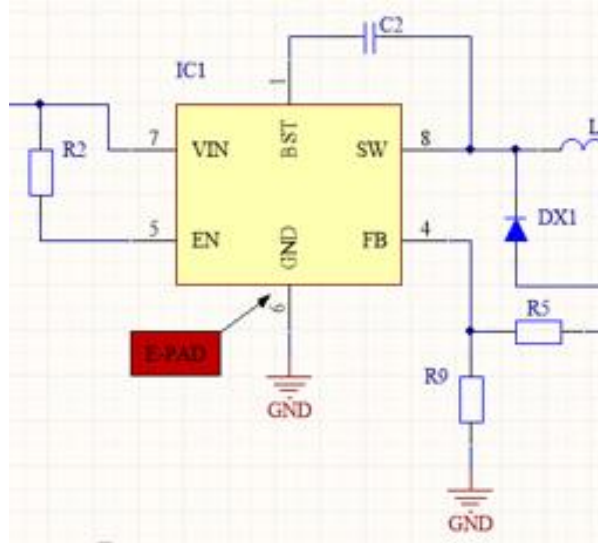
Kablosuz şarj tasarımının verici IC'si olan P9242-R 4.5VDC ile 21VDC aralığında çalışabilen bir entegredir. Tasarım iki revizyon sonucunda son haline ulaşmıştır. İlk revizyonda herhangi bir ekstra devre yapısı kullanılmadan tasarlanan ürün verici entegresinin çalışma aralığı olan 4.5V ile 21V arasında çalışacak şekilde çıkarılmıştır.

İlk revizyondan sonra tasarıma ikinci bir revizyon yapılmıştır. Bu ikinci revizyonun, ilk revizyondan en önemli farkı giriş geriliminin daha geniş voltaj aralığına sahip olmasıdır. Bu geniş voltaj aralığını sağlamak için ise verici IC' nin önüne bir adet step-down konverter devresi dahil edilmiştir.



Şekil 6.9. Step-down konverter devre şeması

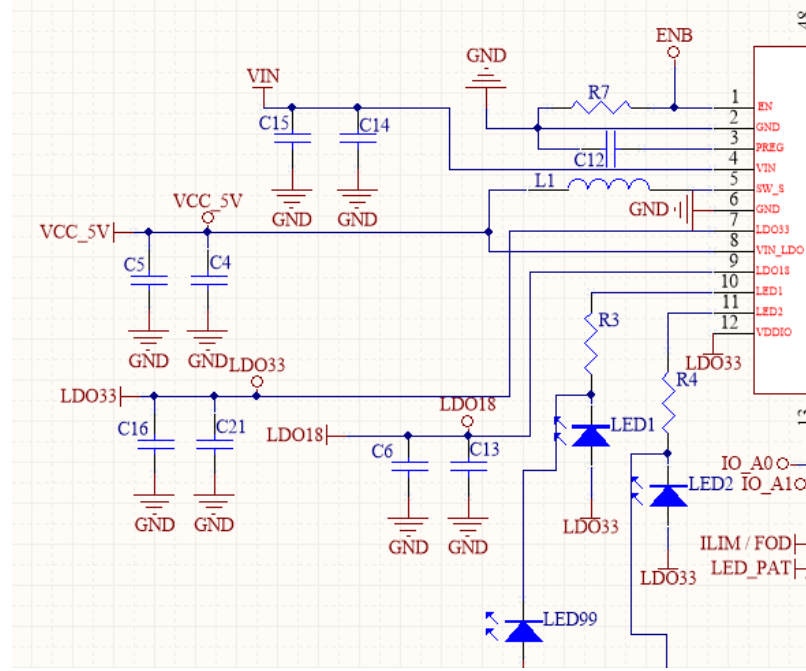
Kullanılan step – down devresi 36VDC giriş voltajına sahip ve 5A akıma kadar yük çekebilen bir regülatördür. Bu sayede girişten 36V'a kadar gelen voltaj regülatör sayesinde 12V DC voltaja düşürülüp, verici entegresini sürer. Sonuç olarak 21V giriş gerilimine kadar çalışabilen kablosuz verici entegresi 36V giriş gerilimine kadar çalışması sağlanmıştır. Ayrıca entegrenin besleme voltajı regülatör çıkışından alındığı için filtrelenmiş ve daha temiz bir sinyalle çalışması sağlanmıştır. IC' nin besleme gerilimi step – down dönüştürücüde bulunan ayar dirençleri ile 12V olarak ayarlanmıştır.



Şekil 6.10. Verici IC besleme voltajı ayar dirençleri

P9242-R transmitter entegresini kontrol etmek için entegrenin içinde 3 adet dahili voltaj regülatörü bulunmaktadır. 5V ön regülatör tüm dahili güç yönetimini sağlar. IC' nin PREG pimi olan bu 5V'luk lineer voltaj regülatörü piminin girişine $1\mu\text{F}$ 'lık kapasitör bağlanması datasheette önerilmiştir. Bağlanan bu kapasitörün IC' nin PREG pimine oldukça yakın olması EMC açısından son derece önemlidir.

P9242-R entegresinin iç yapısında digital devreyi yönlendirmek için 3.3V ve 1.8V olmak üzere 2 adet lineer voltaj regülatörü bulunmaktadır.



Şekil 6.11. 3.3V ve 1.8V lineer regülatör devresi

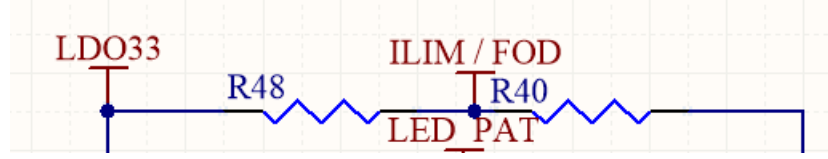
P9242-R entegresinin ana güç devresi, akım algılama direnci, H köprüsü rezonans tank sürücüsünün 4 adet FET' ini ve rezonans tankını içerir.

6.13.1. Aşırı akım sınırının ayarlanması

Devredeki aşırı akım koruması, vericiyi sistemin potansiyel olarak hasara veya beklenmeyen davranışlara neden olabilecek çalışma koşullarından korumak için tasarlanmıştır. Sistemin giriş akımı, güç aktarımı sırasında sürekli olarak izlenir [10].

Giriş akımı, programlanan akım limitinin (eşiğinin) üzerine çıkarsa, P9242-R giriş akımını aşırı akım sınırının altında tutmak için anahtarlama frekansını arttıracak veya görev döngüsünü azaltacaktır.

Devrenin akım limiti, ILIM pimine bağlı R37 ve R38 dirençleri ile ayarlanır. ILIM pimi R48 direnci ile 3.3V'a çekilir.

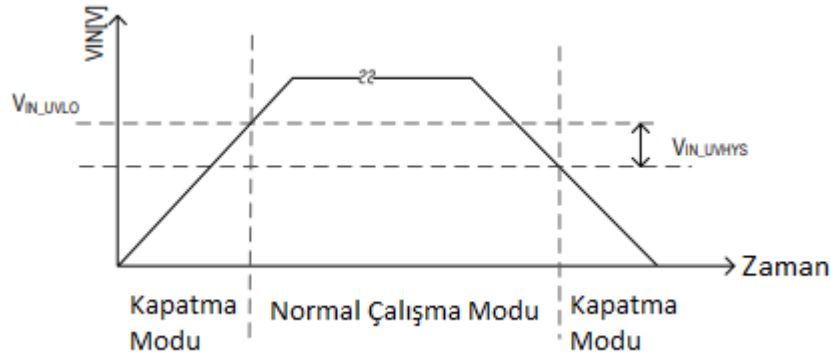


Şekil 6.12. Akım limiti ve FOD ayar devresi

6.13.2. Düşük voltaj devre kilitleme koruması

P9242-R, Vin pimi üzerinde 4V (tipik) düşük voltaj kilitleme devresine sahiptir. Uygun işlevselliği sağlamak için, Vin pimi üzerindeki voltaj düşük voltaj kilitleme eşiğinin üstüne çıkmalıdır.

Giriş gerilimi düşük voltaj kilitleme eşiğinin altında kalıyorsa, P9242-R kilitleme modundadır [10].



Şekil 6.13. Giriş voltajı – zaman grafiği

6.13.3. Termal koruma

P9242-R entegresi arıza koşullarında karşılaşılabilecek aşırı termal baskıdan kaynaklı hasarı önlemek için termal koruma, termal kapatma, devresine sahiptir.

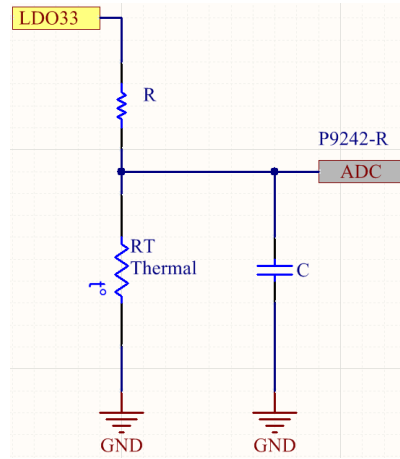
Arıza koşullarında karşılaşılabilecek aşırı ısıl gerilmeden kaynaklı hasarı önlemek için IC bir sıcaklık eşiğini aşarsa P9242-R kapanır ve sıfırlanır.

P9242-R entegresinin içindeki sıcaklığı izleyen dahili bir sıcaklık koruma bloğu etkindir. Entegrenin sıcaklığı 140°C' yi aşarsa, entegre kapanır ve iç sıcaklık 120°C' nin altına düşene kadar kapalı konumda kalmaya devam eder.

6.13.3.1. Harici sıcaklık algılama – TS

P9242-R, bir termistör kullanılarak harici bir sıcaklığı izlemek için kullanılabilen bir sıcaklık sensörü girişine (TS) sahiptir.

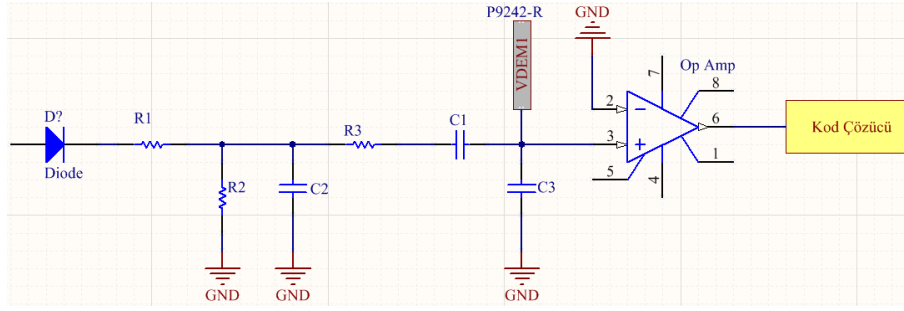
Dahili karşılaştırıcının referans voltajı P9242-R'de 0.6V olarak seçilmiştir ve TS pinindeki voltaj seviyesini izlemek için kullanılır.



Şekil 6.14. Harici sıcaklık algılama

6.13.4. Gerilim demodülasyonu

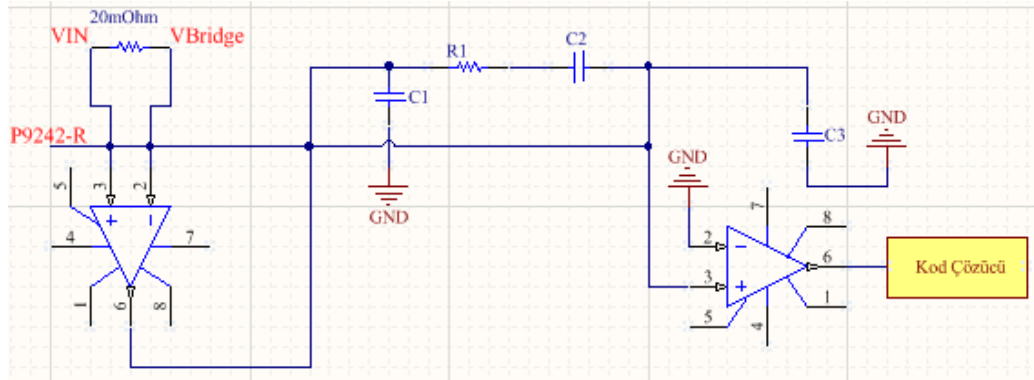
Herhangi bir yük koşulunda iletişim güvenilirliğini arttırmak için, P9242-R, biri bobin akımı bilgisine diğeri bobin voltaj bilgisine dayanan iki demodülasyon şemasına sahiptir. Voltaj demodülasyon şeması alçak geçiren filtre ve DC filtre işlevini gerçekleştirir.



Şekil 6.15. Gerilim modülasyonu

6.13.5. Akım demodülasyonu

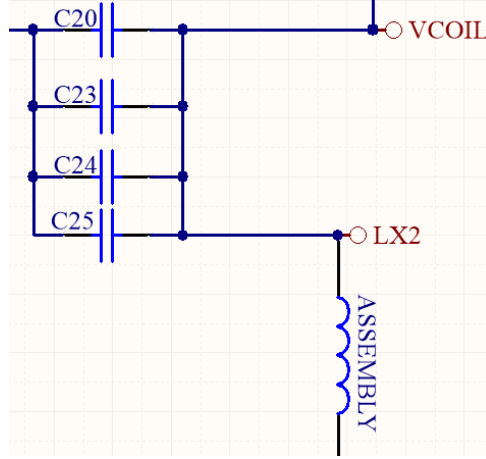
Akım demodülasyonu dedektörü, modülasyon bilgisini, ortalama giriş akımına ek olarak bobin akımı modülasyon bilgisini taşıyan akım algılama direncinden alır. ISNS_OUT ve IDEMI pinleri arasında ayrık bir düşük geçiş filtresi ve DC filtresi vardır. Paket kod çözücü bloğu, voltaj modu ve akım modu dedektörleri arasında paylaşılır. Paket kod çözücü, en iyi demodüle edilmiş sinyalin üretilmesine bağlı olarak voltaj modu veya akım modu sinyallerini seçer [10].



Şekil 6.16. Akım demodülasyonu

6.13.6. LC rezonans devresi

LC rezonans devresi seri primer rezonans bobini (LP) ve seri kapasitanstan (CP) oluşur. P9242-R, birincil bobini (LP) ve bir seri kapasitansı (CP) tahrik etmek için yarım köprü ve tam köprü invertör topolojileri kullanan bir MP-A2 bobin konfigürasyonu için tasarlanmıştır.



Şekil 6.17. LC rezonans devresi

Rezonans yakınında, CP serisi kapasitansı boyunca geliştirilen voltaj 70V'a ulaşabilir. Bu sebeple minimum 100V COG tipi seramik kapasiteler tercih edildi.

Eşdeğer empedansın değerini sonsuza götürecek frekans, rezonans frekansıdır ve bu devre bu frekansta sinyal üretir. Rezonans frekansı aşağıdaki formül ile bulunur. Denklem 6.1'deki formül kullanılarak kapasitör ve bobin indüktans değeri hesaplanır.

$$f = \frac{1}{(2\pi\sqrt{LC})} \quad (6.1)$$

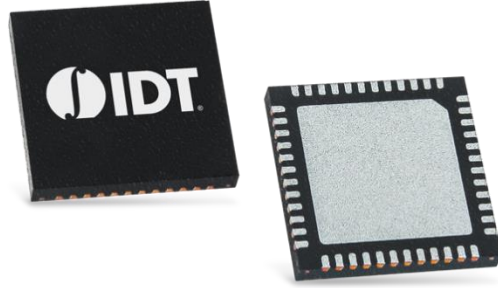
Şarj edilen kapasitörler, bobin tarafından deşarj oldukça bobin üzerinden akan akım bobinin etrafında manyetik alan oluşturur. Bu durum, kapasitörler boşalınca kadar devam eder. Kapasitörler tamamen boşalınca bobinde indüklenen manyetik alana çökmeye başlar. Bobindeki manyetik alan boşalana kadar bobin üzerinden ters yönde akan akım kapasitörü ters polaritede şarj eder.

$$f = \frac{1}{(2\pi\sqrt{(100+100+68)nFx6.8uH})} \quad (6.2)$$

$$f = 106,61kHz \quad (6.3)$$

BÖLÜM 7. GÜÇ TÜKETİMİ ve TERMAL GEREKSİNİMLER

Elektronik devrede kullanılan verici entegresi 48 bacaklı QFN bir pakete sahiptir. Elektronik komponentlerin güç dağıtmaları komponentin paketi ve baskılı devre kartı (PCB) arasındaki termal pad ve via delikleri ile belirlenir.

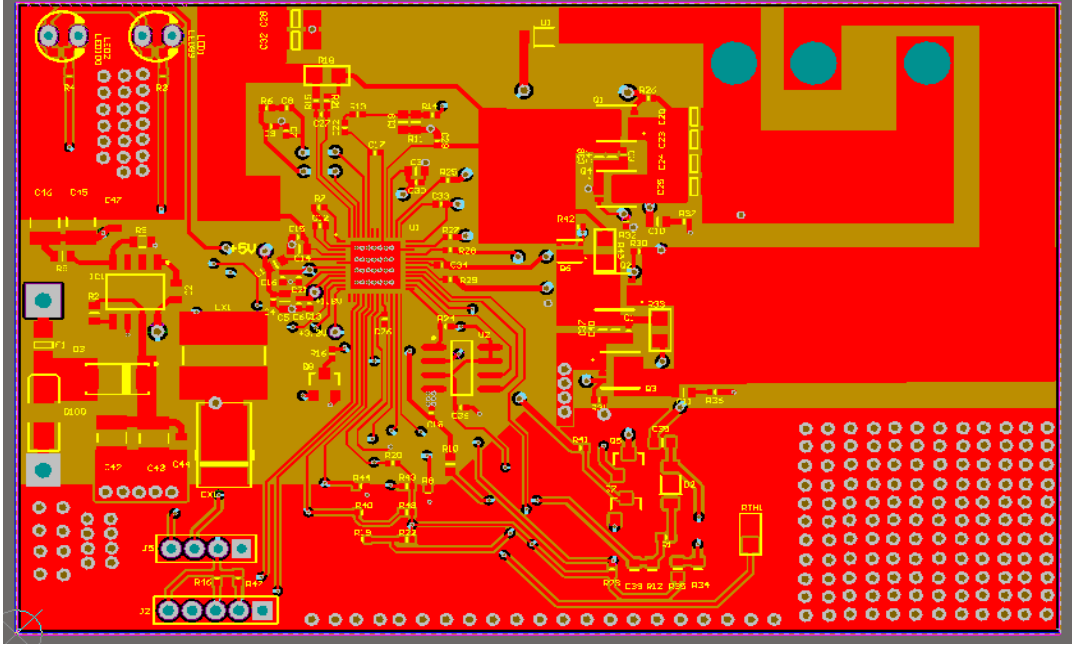


Şekil 7.1. Verici entegresi paket resmi

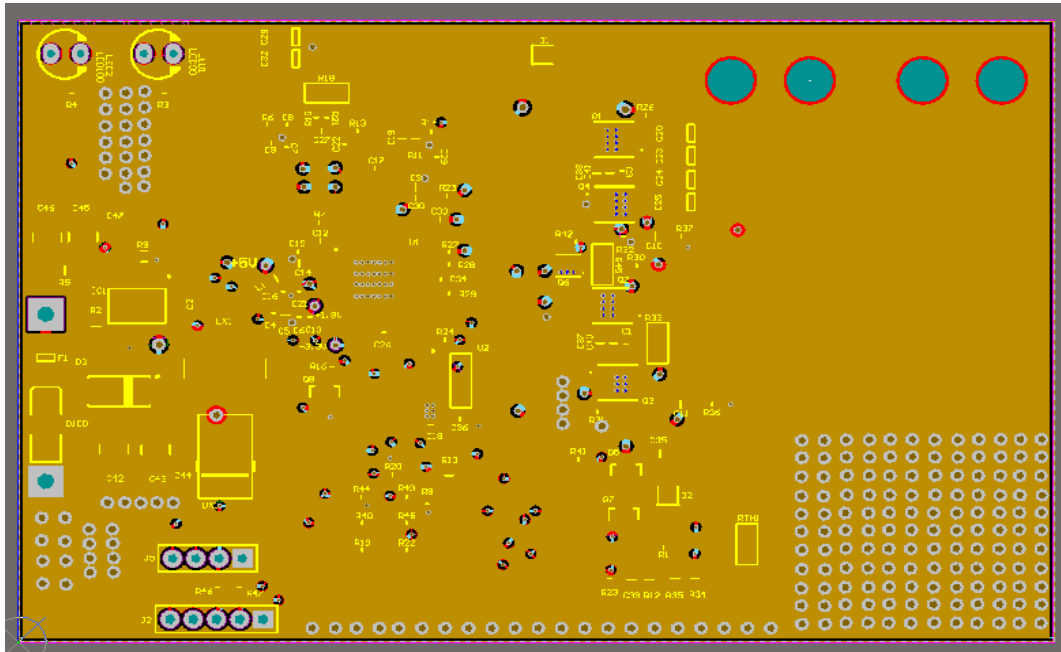
Komponentin maksimum güç dağıtımını jonksiyon sıcaklığı ile tanımlanır ve burada kullanılan komponentin maksimum güç dağıtımını veri sayfasından 125 °C olarak verilmiştir.

Tasarlanan PCB’ de köprü FET komponentleri ile P9242-R verici entegresinin termal olarak ısı üreten diğer komponentlerle yakın olmamasına dikkat edildi. Çünkü entegrenin çevresin bulunan ortamın sıcaklığı tasarlanan devrenin termal sınırlarını da belirler. Termal performansı arttırmak için birçok yol vardır. Sisteme ekstra hava akımı sağlanması, komponent ile PCB arasına termal padler yerleştirilir gibi. Bu tez çalışmasında tasarlanan elektronik kart oluşabilecek termal problemlerinin önüne geçmek için dört katlı olarak tasarlanmıştır. Onun dışında çok fazla soğutma alanları ile termal problemin önüne geçilmesi planlanmıştır.

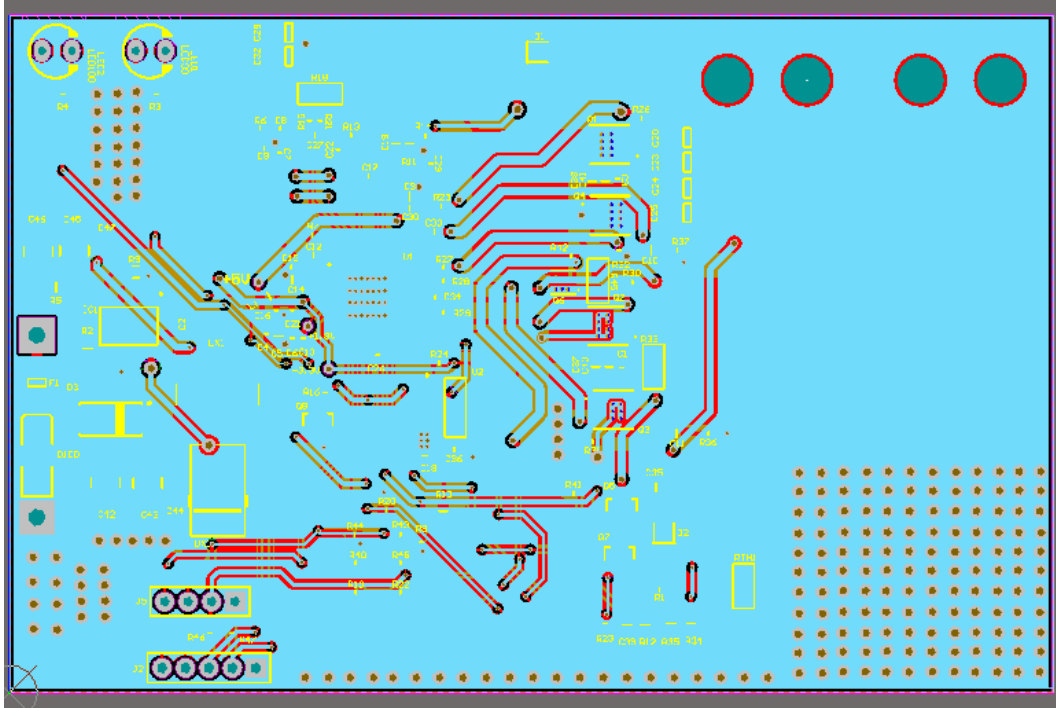
Dört katmanlı ya da çok katmanlı elektronik kartlarda genel olarak katmanlar belli bir düzen ile yerleştirilir. Güç, toprak, sinyal ve son kata da toprak hattı konulur. En çok tercih edilen çok katmanlı devre tipi budur. Farklı yöntemler de kullanılan tasarımlar muhakkak vardır.



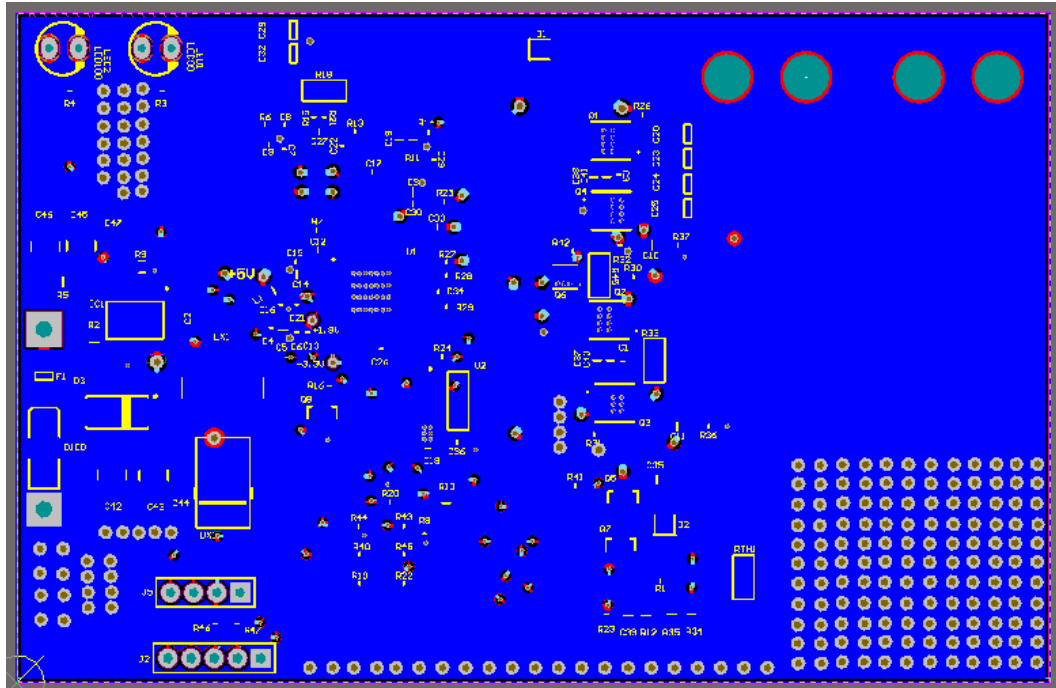
Şekil 7.2. PCB'nin birinci katman görüntüsü



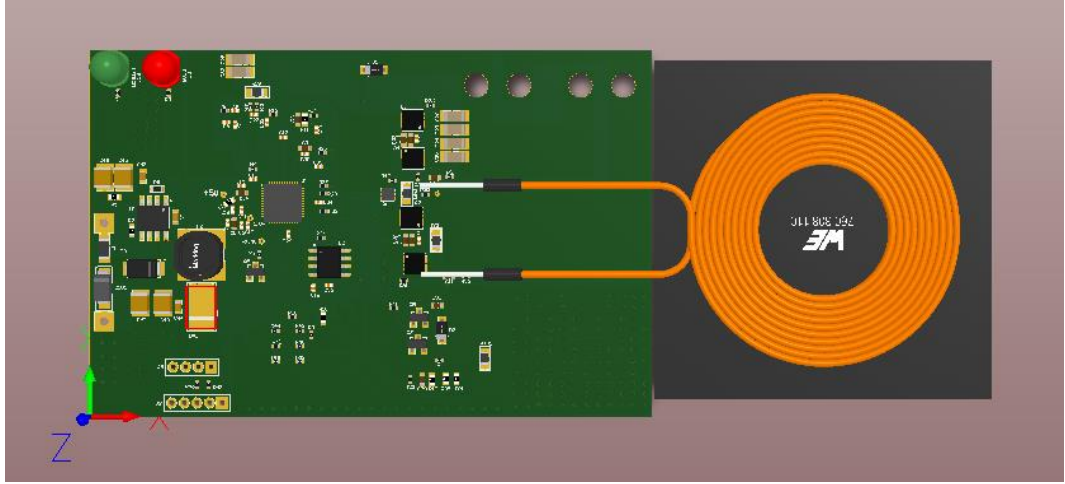
Şekil 7.3. PCB'nin ikinci katmanı (Toprak hattı) görüntüsü



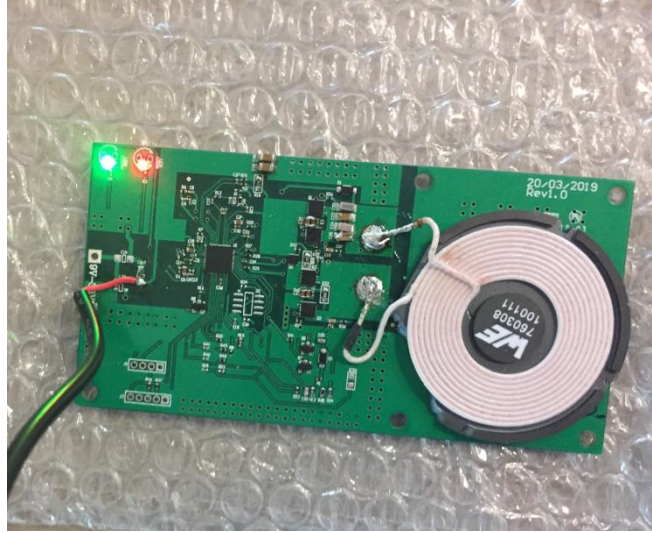
Şekil 7.4. PCB'nin üçüncü katman görüntüsü



Şekil 7.5. PCB'nin dördüncü katman (Toprak hattı) görüntüsü



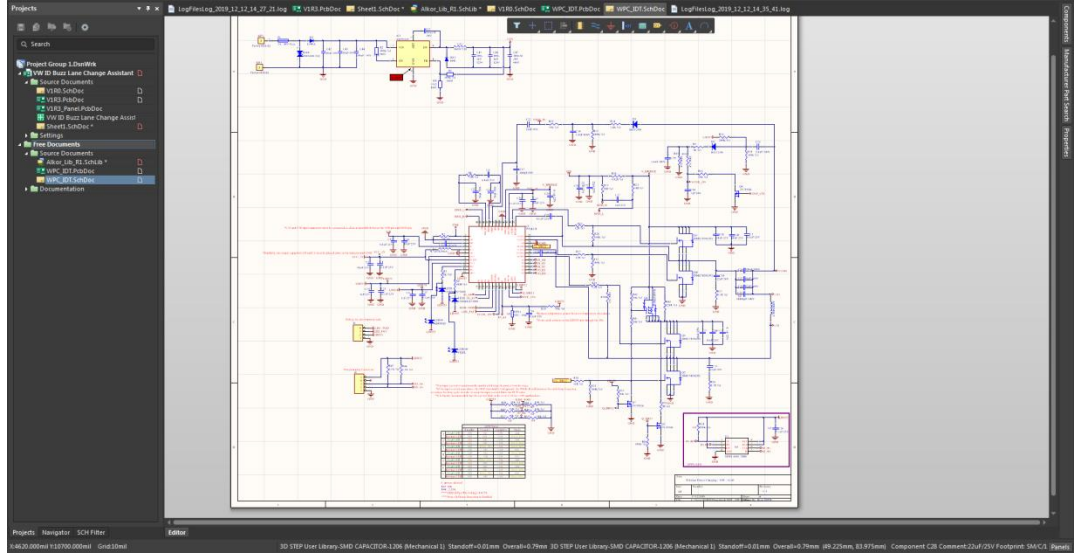
Şekil 7.6. PCB' nin 3D görüntüsü



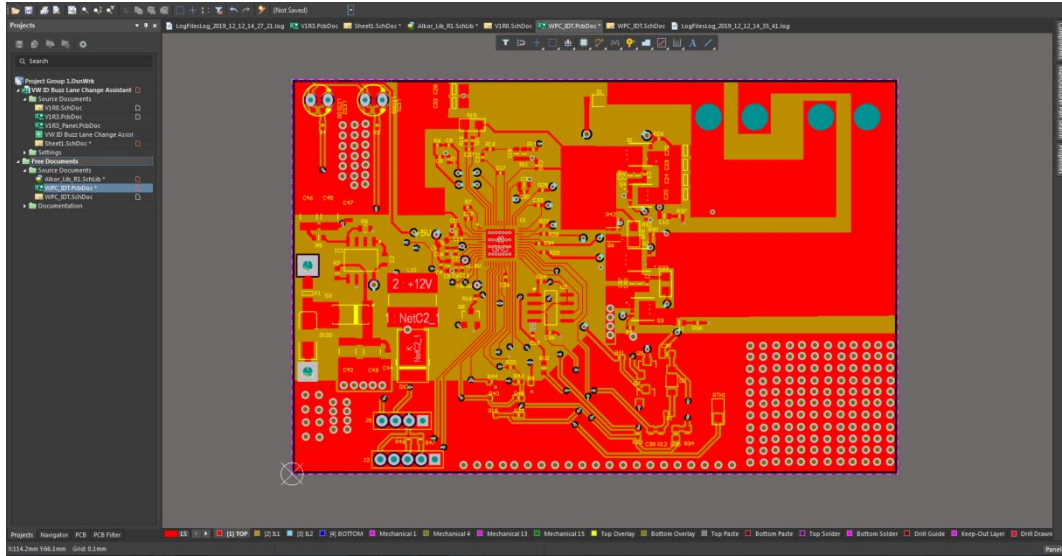
Şekil 7.7. PCB' nin gerçek görüntüsü

BÖLÜM 8. KART TASARIMINDA KULLANILAN ÇİZİM PROGRAMI

Bu tez çalışmasının son bölümü olarak tasarlanan elektronik devre için kullanılan çizim programından bahsedilecektir. Önceki ismi ile Protel olan söz konusu program dünya genelinde birçok Ar-Ge firmasının kullandığı Altium Designer programıdır. Gün geçtikçe artan teknolojik gelişmeler ve yine bu doğrultuda gittikçe karmaşıklaşan ürün gruplarına hızlı bir şekilde cevap verebilen bir tasarım programıdır. Hem şematik hem PCB tasarım arayüzleri ile çok profesyonel bir tasarım imkanı sunmaktadır.

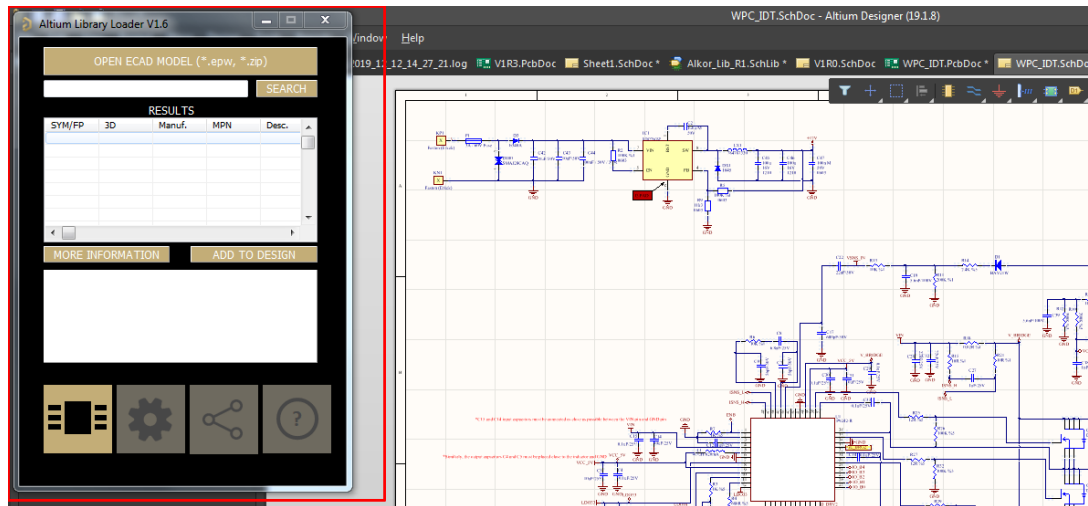


Şekil 8.1. Altium Designer Şematik Arayüzü



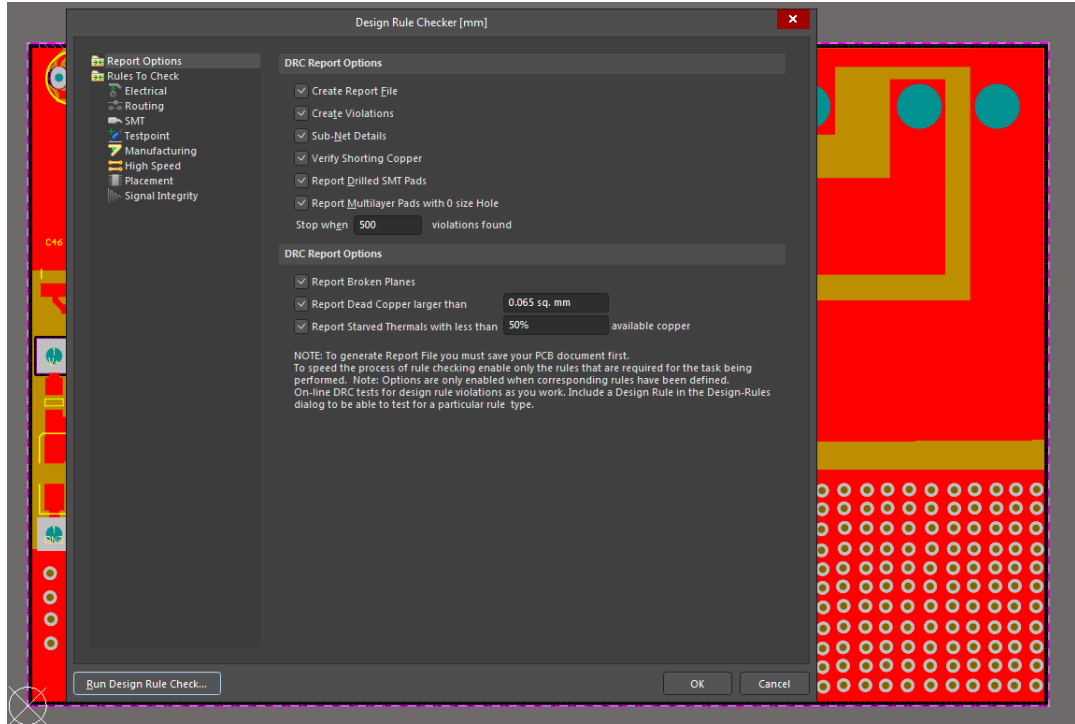
Şekil 8.2. Altium Designer PCB Arayüzü

Altium Designer ile devre elemanlarının hem şematik hem de PCB kütüphaneleri çok rahat bir şekilde oluşturulabilmektedir. Bununla birlikte, Altium 2019 versiyonu ile birlikte programa include ettiği “Altium Library Loader” modülü ile yüzlerce komponentin hem şematik hem de PCB kütüphanelerini hazır olarak indirme imkanı sunmaktadır. Altium yeni eklediği bu özelliği ile tasarımcılara zaman kazandırarak karmaşık devrelerde, tasarımcıların kütüphane oluştururken kaybettiği zamanın önüne geçmeyi hedeflemektedir.



Şekil 8.3. Altium Library Loader modülü

Yine Altium Designer' in bir diğ er özelliğ i olan “Design Rule Check” ile tanımlanan kurallar doğ rultusunda tasarımdaki tüm hataları görm ek mümkün.



Şekil 8.4. Design Rule Check modülü

BÖLÜM 9. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu tez çalışmasında kablosuz enerji aktarımında geçmişten günümüze kadar yapılmış çalışmalar anlatılmıştır. Bu çalışmalar tarihçe olarak sıralanmıştır. Kablosuz enerji aktarımının gerçekleşme olayı ayrıntılı olarak incelenmiştir. Ayrıca kablosuz güç transfer yöntemlerinde bahsedilmiştir. Dünya üzerinde bu teknolojinin önemi üzerinde durulmuştur.

Tasarlanan elektronik kartın sağlıklı olarak çalışabilmesi için en önemli faktör olan rezonans frekansı dışında kalması durumu için uygun kondansatör ve verici bobin değerleri seçilmiştir. Yapılan hesaplamalar ile de tutarlı şekilde devrenin rezonansın dışında kalarak doğru bir şekilde çalıştığı görülmüştür.

Sonuç olarak verici elektronik devresi ile 15W güce kadar tüm elektronik cihazları şarj edebilen bir devre tasarlanmıştır. Tasarlanan elektronik devre evrensel kablosuz şarj standardı olan Qi özelliği olmasından dolayı marka ve model ayrımı olmadan yine Qi uyumlu olan tüm alıcı elektronik cihazlar ile kullanılabilir yapıdadır.

Giderek gelişen teknoloji ile elektronik cihazların da kablo yükünden kurtulması önemli bir kriter haline gelmiştir. Bu doğrultuda mobilitesi ile tüm sektörlerde rağbet gören bir ürün olacağı düşünülmektedir.

Ayrıca bu tez çalışması sonunda elde edilen projenin ticarileşmesi konusunda çalışmalar yapılmaktadır. Hem otomotiv hem de endüstriyel şirketler ile aktif görüşmeler ve gerekli sunumlar yapılarak ürünün fonksiyonları anlatılmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] <https://www.wikizeroo.org/index.php?q=aHR0cHM6Ly9lbi53aWtpcGVkaWEub3JnL3dpa2kvUmVjdGVubmE.>, Erişim Tarihi: 27.12.2019.
- [2] <https://www.wikizeroo.org/index.php?q=aHR0cHM6Ly9lbi53aWtpcGVkaWEub3JnL3dpa2kvSW5kdWN0aXZlX2NoYXJnaW5n.>, Erişim Tarihi: 27.12.2019.
- [3] <https://www.wikizeroo.org/index.php?q=aHR0cHM6Ly9lbi53aWtpcGVkaWEub3JnL3dpa2kvV2lyZWxlc3NfcG93ZXJfdHJhbnNmZXI.>, Erişim Tarihi: 27.12.2019.
- [4] [https://www.wirelesspowerconsortium.com/.](https://www.wirelesspowerconsortium.com/), Erişim Tarihi: 27.12.2019.
- [5] Vladimir Muratov, Methods For Foreign Object Detection in Inductive Wireless Charging, Qi Developer Forum Nov 16, 2017.
- [6] <https://www.wikizeroo.org/index.php?q=aHR0cHM6Ly9lbi53aWtpcGVkaWEub3JnL3dpa2kvRnJlcXVlbnN5LXNoaWZ0X2tleWluZW.>, Erişim Tarihi: 27.12.2019.
- [7] <https://www.wikizeroo.org/index.php?q=aHR0cHM6Ly9lbi53aWtpcGVkaWEub3JnL3dpa2kvQW1wbGl0dWRlLXNoaWZ0X2tleWluZW.>, Erişim Tarihi: 27.12.2019.
- [8] <https://www.wirelesspowerconsortium.com/data/downloadables/1/9/0/9/wpc1704-vladimir-muratov-methods-for-foreign-object-detection.pdf.>, Erişim Tarihi: 27.12.2019.
- [9] <https://www.idt.com/us/en.>, Erişim Tarihi: 27.12.2019.
- [10] <https://www.idt.com/us/en/products/power-management/wireless-power/wireless-power-transmitters/p9242-r-wpc-122-compliant-wireless-charging-transmitter-15w-applications.>, Erişim Tarihi: 27.12.2019.

ÖZGEÇMİŞ

Barış İSPİR, 24.04.1990'da İstanbul'da doğdu. İlk ve orta öğretimini İstanbul'da, lise eğitimini Malatya'da tamamladı. 2007 yılında Rahime Batu Lisesi'nden mezun oldu. 2008 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nü 2013 yılında bitirdi. 2013 yılında Sakarya Üniversitesi Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimine başladı. Yine bu süreçte 2014 yılında girdiği Makel Elektrik Malzemeleri / Ar-Ge Merkezinde Donanım Tasarım Mühendisliği pozisyonunda 3 yıl boyunca çalıştı. Şuan Al-kor Makine Kalıp A.Ş.'de Elektronik Tasarım Mühendisi olarak çalışmakta