

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**RFID MIFARE OKUYUCU TASARIMI VE MIFARE OKUYUCU  
BAŞARIMININ ARTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Elektrik-Elektronik Müh. Mehmet HOŞOĞLU**

**MART 2010  
TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**RFID MIFARE OKUYUCU TASARIMI VE MIFARE OKUYUCU BAŞARIMININ  
ARTIRILMASI**

**Elektrik-Elektronik Müh. Mehmet HOŞOĞLU**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce  
“Elektronik Yüksek Mühendisi”  
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 31.12.2009**

**Tezin Savunma Tarihi : 24.03.2010**

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Haydar KAYA**

**Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Adnan CORA**

**Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Mustafa ULUTAŞ**

**Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Salih TERZİOĞLU**

**Trabzon 2010**

## ÖNSÖZ

Bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Elektronik Bilim Dalı, Yüksek Lisans programı çerçevesinde, RFID sistemlerden Mifare sistemini inceleyerek kart algılama süresini kısaltmak ve bilgi yazma güvenilirliğini artırmak amacıyla yapılmıştır.

Yapılan tüm incelemeler ve hesaplamalar için bir Mifare okuyucu ve anteni tasarlanmış, okuyucu ile bilgisayar üzerinden haberleşmek için bellenim (firmware) ve yazılım arabirimleri gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışma esnasında yardımlarından dolayı danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Haydar KAYA' ya ve katkısı bulunan tüm arkadaşlarıma şükranlarımı sunarım.

Ayrıca, beni bugüne kadar yalnız bırakmayan, maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, sevgili anneme, babama ve eşime bu vesileyle sevgi ve saygılarımı sunarım.

Mehmet HOŞOĞLU  
Trabzon 2010

## İÇİNDEKİLER

|                                                           | <u>Sayfa No</u> |
|-----------------------------------------------------------|-----------------|
| ÖNSÖZ .....                                               | II              |
| İÇİNDEKİLER.....                                          | III             |
| ÖZET .....                                                | VI              |
| SUMMARY .....                                             | VII             |
| ŞEKİLLER DİZİNİ .....                                     | VIII            |
| TABLolar DİZİNİ.....                                      | X               |
| SEMBOLLER DİZİNİ .....                                    | XI              |
| KISALTMALAR DİZİNİ .....                                  | XII             |
| 1.1. Giriş.....                                           | 1               |
| 1.2. RFID Sisteminin Elemanları .....                     | 1               |
| 1.2.1. RFID Etiketleri .....                              | 2               |
| 1.2.2. Okuyucular .....                                   | 6               |
| 1.2.3. Antenler ve Radyo Karakteristiklerinin Seçimi..... | 7               |
| 1.2.4. Ağ .....                                           | 9               |
| 1.3. Kuplaj ve Okuma Mesafesi .....                       | 10              |
| 1.3.1. Kuplaj .....                                       | 10              |
| 1.3.2. Pasif RFID Sistemlerinin Okuma Mesafeleri.....     | 11              |
| 1.4. Mifare RF Arabirimi.....                             | 12              |
| 1.4.1. Enerji İletimi.....                                | 13              |
| 1.4.2. Okuyucudan Etikete Veri İletimi.....               | 14              |
| 1.4.3. Etiketten Okuyucuya Veri İletimi.....              | 15              |
| 1.4.4. Okuyucu Anten.....                                 | 18              |
| 1.4.4.1. Okuyucu Anten Boyu .....                         | 18              |
| 1.4.4.2. Çevresel Etkiler .....                           | 20              |
| 1.4.4.2.1. Metal Çevre.....                               | 20              |
| 1.4.4.2.2. Çoklu Okuyucu Antenler .....                   | 20              |
| 1.4.4.2.3. Sıcaklık.....                                  | 21              |
| 1.5. Mifare MF1 IC S50 .....                              | 21              |
| 1.5.1. Kontaklı Enerji ve Veri İletimi.....               | 21              |
| 1.5.2. Çarpışmazlık.....                                  | 22              |
| 1.5.3. Kullanıcı Kolaylığı .....                          | 22              |

|            |                                                                                 |    |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.5.4.     | Güvenlik .....                                                                  | 23 |
| 1.6.       | Anten Koruma ve Kompanzasyon.....                                               | 23 |
| 1.6.1.     | Elektriksel Koruma.....                                                         | 23 |
| 1.6.1.1.   | Doğrudan Uyumlu Antenler .....                                                  | 23 |
| 1.6.1.2.   | 50 $\Omega$ Uyumlu Anten .....                                                  | 24 |
| 1.6.2.     | Kompanzasyon .....                                                              | 25 |
| 1.6.3.     | Ferit Koruma .....                                                              | 25 |
| 1.7.       | Anten Seçimi .....                                                              | 26 |
| 1.8.       | Okuyucu Antenin Tasarlanması .....                                              | 28 |
| 1.8.1.     | Micore Anten İlkesi .....                                                       | 28 |
| 1.8.2.     | Temel Parametre Tasarımı.....                                                   | 30 |
| 1.8.2.1.   | Verilen Parametreler.....                                                       | 30 |
| 1.8.2.2.   | Anten Bobini .....                                                              | 32 |
| 1.8.2.3.   | Simetriden Dolayı Basitleştirme.....                                            | 33 |
| 1.8.2.4.   | Harici Dirençler .....                                                          | 34 |
| 1.8.2.5.   | Paralel ve Seri Kapasitörler .....                                              | 34 |
| 1.8.2.6.   | Ayarlama İşlemi .....                                                           | 35 |
| 1.8.2.7.   | Hassas Ayar .....                                                               | 36 |
| 1.8.2.8.   | Çıkış Akımı ve Q-Faktörünün Kontrol Edilmesi .....                              | 37 |
| 1.8.2.8.1. | ISO14443A'ya Göre Darbe Şekli.....                                              | 39 |
| 1.8.2.8.2. | SL RC400 Tasarımı İçin Darbe Şekli .....                                        | 40 |
| 1.8.2.9.   | Alıcı Devresi.....                                                              | 41 |
| 2.         | YAPILAN ÇALIŞMALAR.....                                                         | 42 |
| 2.1.       | Giriş .....                                                                     | 42 |
| 2.2.       | USB Mifare Okuyucu.....                                                         | 42 |
| 2.2.1.     | Tasarlanan Okuyucunun Devre Şeması ve Yazılım Ekranı .....                      | 42 |
| 2.2.2.     | Okuyucu Antenin Tasarlanması .....                                              | 46 |
| 2.3.       | Okuyucunun Performansını Artırmak İçin Geri Besleme Devresi Ekleme .....        | 49 |
| 2.3.1.     | Devre Üzerindeki Bir Noktadan Geri Besleme Devresi Oluşturmak.....              | 49 |
| 2.3.2.     | Bobin Ekleyerek Geri Besleme Devresi Oluşturmak .....                           | 49 |
| 2.3.3.     | Okuyucunun Etiket Algılama Süresini Kısaltmak ve Akım Tüketimini Azaltmak ..... | 52 |
| 2.3.4.     | Okuyucunun Etikete Bilgi Yazma Güvenilirliğini Artırmak .....                   | 55 |
| 3.         | BULGULAR ve İRDELEME .....                                                      | 57 |
| 3.1.       | Okuyucu Anten Tasarlanması .....                                                | 57 |
| 3.2.       | Geri Besleme Devresi.....                                                       | 59 |

|        |                                                                                           |    |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.2.1. | Okuyucunun Etiketini Algılama Süresinin Kısaltılması ve Güç Tüketiminin Azaltılması ..... | 60 |
| 3.2.2. | Okuyucunun Etikete Bilgi Yazma Güvenilirliğini Artırmak .....                             | 63 |
| 4.     | SONUÇLAR.....                                                                             | 65 |
| 5.     | ÖNERİLER .....                                                                            | 66 |
| 6.     | KAYNAKLAR.....                                                                            | 67 |
| 7.     | EKLER .....                                                                               | 68 |
| 7.1.   | Ek 1.....                                                                                 | 68 |
|        | ÖZGEÇMİŞ.....                                                                             | 72 |

## ÖZET

RFID teknolojisi, günümüzde hızla gelişen ve oldukça geniş kullanım alanına sahip bir teknoloji olarak öne çıkmaktadır.

RFID teknolojisinin finansal sektör uygulamalarına bakıldığında Mifare teknolojisinin daha sıklıkla tercih edildiği gözlenmektedir. Bu teknolojiyle, özellikle toplu taşıma sistemlerinde, banka, yemekhane v.b. gibi ücret bilgisinin çevrimdışı kullanıldığı uygulamalarda karşılaşılmaktadır.

Bu tezde, RFID sistemlerden Mifare teknolojisi kullanılarak bir okuyucu tasarımı ve bu teknolojiye mevcut iki önemli sorun ele alınarak tasarlanan okuyucunun başarımının artırılmasına yönelik çalışmalar yapılmıştır.

Ele alınan sorunlardan ilki, pilli uygulamalarda kontaklsız kartın algılanması esnasındaki fazla enerji tüketimi sorunudur. İkinci sorun ise okuma ve yazma güvenilirliğidir. Kontaklsız kartlar insan eli tarafından serbest olarak tutulduğundan, bu kartları sabit tutmak oldukça zordur. Bundan dolayı okuma ya da yazma işleminde bazen kontaklsız kart okuma mesafesinin dışına çıkmaktadır. Bu durumda karttan ya bilgiler tam okunamamakta ya da yazma işlemi yapılırken işlemin tamamlanıp tamamlanamadığı bilinmemektedir. Bu sorunların çözümü için yöntemler önerilmiş ve bu yöntemlerin başarımları da çalışmada irdelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** RFID, Mifare, Kontaklsız Kart, Kontaklsız Kart Okuyucu, Mifare Okuyucu, ISO 14443

## **SUMMARY**

### **RFID Mifare Reader Design and Improving Mifare Reader Performance**

RFID technology is one of the technologies which rapidly growing and having considerably usage areas today.

In financial sector application Mifare technology is mostly used. We face this technology especially in public transport, bank, dining hall e.c. where fee is paid offline.

In this thesis, building a Mifare reader and improving Mifare reader performance by dealing with two main problem of this technology is discussed.

First problem is that during contactless card detection in battery-powered system overly power consumption. The second problem is the card reading and writing reliability. Because contactless cards are hold from human hands in free, it is impossible to fix them. Therefore in some case in read or write operation, the contactless card leaves the operating distance. In this case card information can not be read properly or it cannot be known weather the write operation is successful or not. In this thesis solutions methods of the problems mentioned above are considered.

**Key Words:** RFID, Mifare, Contactless Card, Contactless Card Reader, Mifare Reader, ISO 14443

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|                                                                                                                  | <u>Sayfa No</u> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| Şekil 1. RFID etiketinin şekli ve yapısı [3].                                                                    | 2               |
| Şekil 2. RFID etiketi anteni ve besleme devresi [8].                                                             | 3               |
| Şekil 3. Okuyucu, insan bedeni ve etiketin devre modeli [3].                                                     | 7               |
| Şekil 4. Yakın ve uzak alandaki kuplaj [3].                                                                      | 9               |
| Şekil 5. Mifare arabiriminin çalışmasının basit olarak gösterimi [4].                                            | 12              |
| Şekil 6. Transformatör modeli                                                                                    | 13              |
| Şekil 7. Okuyucudan etikete veri iletiminde tipik işaret biçimi [4].                                             | 14              |
| Şekil 8. Okuyucudan etikete veri iletiminde kullanılan Miller kodlama                                            | 15              |
| Şekil 9. Alt taşıyıcılı yük modülasyonu ilkesi                                                                   | 16              |
| Şekil 10. Etiketden okuyucu olan veri iletiminde kullanılan kodlamanın zaman ve frekans bölgesinde gösterimi [4] | 18              |
| Şekil 11. Anten çapı ile kuplaj katsayısının değişimi                                                            | 19              |
| Şekil 12. Mifare kart okuyucu ve Mifare etiket [6].                                                              | 22              |
| Şekil 13. Doğrudan uyumlu anten için elektriksel koruma [4].                                                     | 24              |
| Şekil 14. 50 $\Omega$ uyumlu anten için üç-eksenli (triax) kablo kullanılarak elektriksel koruma [4]             | 24              |
| Şekil 15. Kompanze edilmiş 50 $\Omega$ 'luk anten [4]                                                            | 25              |
| Şekil 17. Komple direkt uyumlu anten devresinin blok şeması, 500 ohm [5].                                        | 28              |
| Şekil 18. Direkt uyumlu anten tüm devre şeması [5]                                                               | 29              |
| Şekil 19. Temel parametre anten tasarımı için verilen değerler: EMC-filtre ve uygunlaştırma [5].                 | 30              |
| Şekil 20. Anten devre şeması [5].                                                                                | 31              |
| Şekil 21. (a) Anten bobin devre şeması, (b) yarıçap ile anten sarım sayısı arasındaki ilişki.                    | 32              |
| Şekil 22. Simetrik antenin bir yarısı                                                                            | 33              |
| Şekil 23. Anten devresinin ayar işlemi [5]                                                                       | 35              |
| Şekil 24. Direkt uyumlu antenin tipik empedans grafiği [5]                                                       | 36              |
| Şekil 25. Hassas-ayar işlemi                                                                                     | 37              |
| Şekil 26. Q-faktörünü kontrol etmek için ayar düzeneği [5]                                                       | 38              |
| Şekil 27. Micore antenin test sinyalleri [5].                                                                    | 38              |
| Şekil 28. ISO14443A'ya göre darbe şekli [5].                                                                     | 39              |
| Şekil 29. SL RC400 için darbe şekli [5]                                                                          | 40              |

|             |                                                                                                             |    |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 33.   | İşlemci ve dış bağlantı katı .....                                                                          | 43 |
| Şekil 34.   | Mifare işlemci katı .....                                                                                   | 44 |
| Şekil 35.   | Komple PCB devre .....                                                                                      | 45 |
| Şekil 36.   | Bilgisayar yazılım ekranı .....                                                                             | 46 |
| Şekil 37.   | Tasarlanan okuyucu antenin PCB devresi .....                                                                | 47 |
| Şekil 38.   | Anten devresinin ayar işlemi [5] .....                                                                      | 48 |
| Şekil 39.   | Hassas-ayar işlemi [5] .....                                                                                | 48 |
| Şekil 40.   | Okuyucu anteni, geri besleme bağlantısı ve geri besleme devre şeması .....                                  | 49 |
| Şekil 41.   | Etikette oluşan gerilimi okumak için örnek devre [10]. .....                                                | 50 |
| Şekil 42.   | Okuyucu anteni, geri besleme anteni ve geri besleme devre şeması .....                                      | 51 |
| Şekil 43.   | Okuyucu antenin ve komple devrenin fotoğrafı .....                                                          | 51 |
| Şekil 44.   | Geri besleme anteninin fotoğrafı .....                                                                      | 52 |
| Şekil 45.   | Okuyucunun etiket ile haberleşme yapısı ve komutları [6] .....                                              | 52 |
| Şekil 46.   | Okuyucunun etiket ile 'Request' komutu işlemesindeki akım tüketimi ve zaman .....                           | 53 |
| Şekil 47.   | Okuyucunun akım tüketimini azaltan kart algılama akış diyagramı .....                                       | 54 |
| Şekil 48.   | Okuyucunun Güvenli Bilgi Yazma Akış Diyagramı .....                                                         | 56 |
| Şekil 49.   | Micron Rx pinindeki AC-gerilim seviyesi .....                                                               | 58 |
| Şekil 50.   | Micore' dan elde edilen darbe şekli .....                                                                   | 59 |
| Şekil 51.   | Okuyucu ile Mifare Request komutu yürütüldüğü durumda akım-zaman grafiği (alanda etiket yok) .....          | 60 |
| Şekil 52.   | Okuyucu ile etiketin Mifare Request komutu yürütüldüğü durumda Akım-Zaman grafiği (alanda etiket var) ..... | 61 |
| Şekil 53.   | Okuyucunun taşıyıcı sinyali açıldığı durumda akım-zaman grafiği .....                                       | 61 |
| Şekil 54.   | Geri besleme devresinde alanda kart yokken oluşan gerilim .....                                             | 62 |
| Şekil 55.   | Geri besleme devresinde alana kart yaklaştırılınca (okuyucuya 5 cm mesafe) oluşan gerilim .....             | 62 |
| Şekil 56.   | Geri besleme devresinde okuyucuya temas halinde iken etiket varken oluşan gerilim .....                     | 63 |
| Şekil 57.   | Geri besleme devresinde okuyucuya 3 cm mesafe etiket varken oluşan gerilim .....                            | 64 |
| Ek Şekil 1. | Endüklenen manyetik akı .....                                                                               | 68 |
| Ek Şekil 2. | Hesaplama noktasında endüklenen manyetik akı .....                                                          | 69 |

## TABLolar DİZİNİ

|                                                                                 | <b><u>Sayfa No</u></b> |
|---------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| Tablo 1. EPC RFID Sınıfları [1].....                                            | 4                      |
| Tablo 2. EPC RFID Entegre Nesilleri [1] .....                                   | 5                      |
| Tablo 3. RFID Etiketlerin Çalışma Frekansları ve Kullanıldığı Ülkeler [3] ..... | 5                      |
| Tablo 4. Lisanssız bantlara ait dalga boyu büyüklükleri [1,6]. .....            | 8                      |
| Tablo 5. Mifare Arabirimi Parametreler.....                                     | 12                     |
| Tablo 6. Antenlerin Karşılaştırılması [4].....                                  | 26                     |
| Tablo 7. Şekil 18’deki devreye ilişkin parametreler [5].....                    | 29                     |
| Tablo 8. ISO14443A’ya Göre Darbe Süreleri [5] .....                             | 39                     |
| Tablo 9. SL RC400’e göre darbe süreleri [5] .....                               | 40                     |
| Tablo 10. Micore’ a Göre Darbe Süreleri.....                                    | 58                     |

## SEMBOLLER DİZİNİ

|            |                             |
|------------|-----------------------------|
| D          | : Anten çapı                |
| dB         | : Desibel                   |
| H          | : Alan şiddeti              |
| K          | : Kuplaj katsayısı          |
| $L_a, L_b$ | : Anten bobini              |
| Q          | : Kalite faktörü            |
| R          | : Anten yarıçapı            |
| Rcoil      | : Anten bobinin iç direnci  |
| Rext       | : Harici direnç             |
| x          | : Maksimum çalışma mesafesi |
| $\lambda$  | : Dalga boyu                |
| $\Phi$     | : Manyetik akı              |

## KISALTMALAR DİZİNİ

|        |                                                      |
|--------|------------------------------------------------------|
| ASK    | : Amplitude Shift Keying                             |
| EMC    | : Electromagnetic Compatibility                      |
| EPC    | : Electronic Product Code                            |
| FDA    | : Food and Drug Administration                       |
| HF     | : High Frequency                                     |
| IFF    | : Identification Friend or Foe                       |
| ISM    | : Industrial, Scientific and Medical                 |
| LCR    | : Inductance (L), Capacitance (C), ve Resistance (R) |
| LF     | : Low Frequency                                      |
| Micore | : Contactless Reader IC Family                       |
| ONS    | : Object Name Service                                |
| OOK    | : On-Off Keying                                      |
| PCB    | : Printed Circuit Board                              |
| RF     | : Radio Frequency                                    |
| RFID   | : Radio-Frequency Identification                     |
| SMD    | : Surface Mounted Devices                            |
| UHF    | : Ultra High Frequency                               |
| VHF    | : Very High Frequency                                |

## **1. GENEL BİLGİLER**

### **1.1. Giriş**

RFID' nin geçmişi II. Dünya Savaşı'nda radyo-tabanlı kimlik saptamayı kullanan müttefik bombardımancılara dayanmaktadır. Erken teşhis dost-düşman (IFF) sistemi müttefikler ve hava savunma sistemleri için düşman tarafından gönderilen hava kuvvetlerinden kendi bombardımancılarını ayırmayı sağlıyordu. Bu sistem kodlanmış kimlik saptama sinyallerini radyo ile göndermekte, doğru sinyali gönderen uçak dost, geriye kalanlar düşman olarak dikkate alınmaktaydı. Bugünkü radyo frekans kimlik saptama sistemlerinin temeli buna dayanmaktadır [1].

RFID sisteminin amacı veriyi etikete aktarmak, uygun zaman ve durumda belirli uygulamalarda etiketteki bilgiyi okumaktır. Etiketin içindeki veri üretimdeki bir ürünün, taşımada bir eşyanın, bir aracın, bir hayvanın veya herhangi bir şeyin kimliği olabilir. Etikete daha detaylı bilgi ekleyerek ürün veya nesne hakkında daha fazla bilgi elde edilebilir.

Etiketten okunan veya sorgulanan bilgiyi anlamlaştırmak için bir sisteme gerek duyulmaktadır. Bunun için bir veri bilgi sistemi ya da bilgisayar kullanılabilir. Böyle bir sistem aynı zamanda etikete bilgi yazma ya da üretici tarafından yazılan bilgileri ihtiva eden bir özellik de içermelidir.

RFID sisteminin yeteneklerini anlamak ve değerlendirmek için, RFID sisteminin elemanlarını bilmek gerekmektedir [2].

### **1.2. RFID Sisteminin Elemanları**

RFID sistemi temel olarak dört elemandan oluşmaktadır [1]:

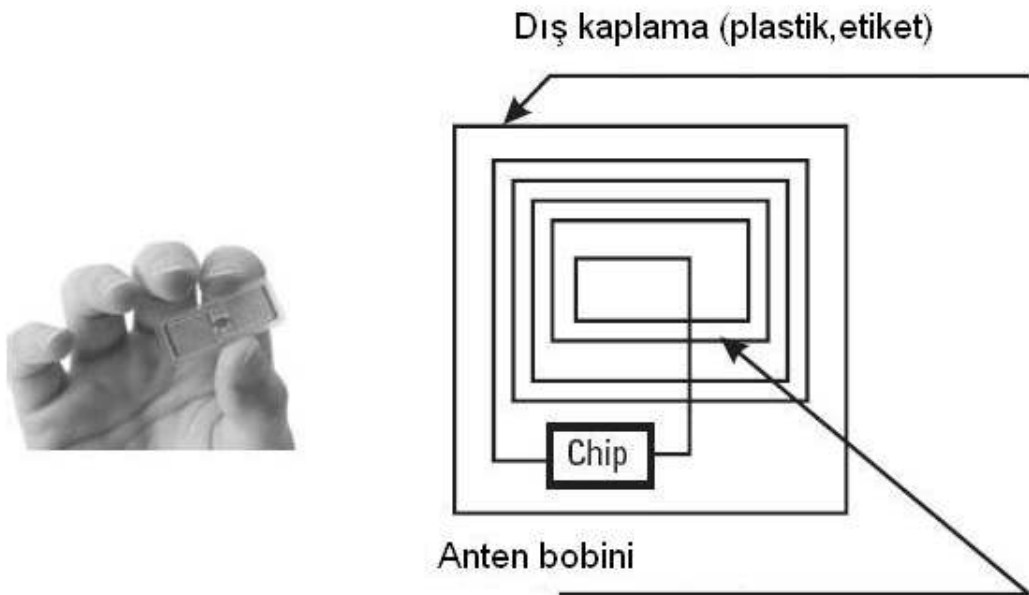
- 1) RFID etiketler,
- 2) RFID okuyucular,
- 3) Antenler ve radyo karakteristiklerinin seçimi,
- 4) Okuyucuları birbirine bağlayan (eğer mevcut ise) bilgisayar ağı.

### 1.2.1. RFID Etiketleri

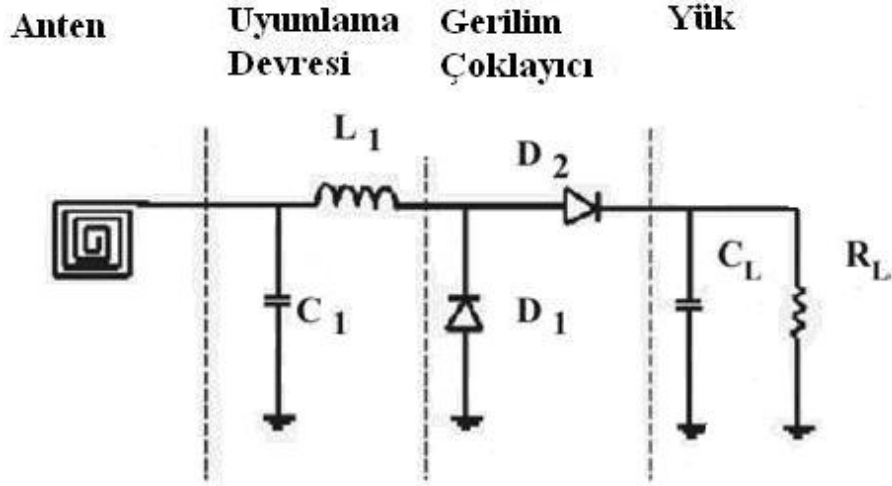
Etiketler RFID'nin temel elemanlarıdır. Her etiket bir anten ve küçük silikon entegreden oluşur. Bu silikon entegre radyo alıcısından, okuyucuya cevabı geri göndermek için gerekli bir radyo modülatörü, lojik kontrol, bellek ve güç sisteminden oluşur. Güç sistemi alınan RF sinyalinin beslenebilen etiketlere pasif etiket denir. Güç sistemleri bataryaya sahip olan etiketlere ise aktif etiket denir.

Aktif etiketlerin temel avantajları okuma mesafesi ve güvenilirlikleridir. Okuyucu ve etiketteki uygun anten ile 915 MHz'lik bir etiket 30 metre mesafeden okunabilir. Bu etiketler, besleme için kesintisiz bir radyo sinyaline gerek duymadıklarından daha güvenilirdirler. Öte yandan pasif etiketler bataryaları olmadığından aktif etiketlere göre daha küçük ve daha ucuz olabilirler. Diğer avantajları ise uzun raf ömürleridir. Aktif etiketlerin bataryaları sadece birkaç yıl dayanırken pasif etiketler ilke olarak üretildikten onlarca yıl sonra bile okunabilirler.

Aktif ve pasif etiketler yanında yarı-pasif etiketler de kullanılmaktadır. Bu etiketler bir bataryaya sahip olmalarına rağmen okuyucunun enerjisini kullanarak RFID okuyucusuna mesajı geri gönderirler. Bu tekniğe geri yansıma denir. Bu etiketler aktif etiketlerin güvenilirliğine, pasif etiketlerin okuma mesafesine sahiptirler. Bunlar ayrıca aktif etiketlere göre daha uzun raf ömrüne sahiptirler.



Şekil 1. RFID etiketinin şekli ve yapısı [3].



Şekil 2. RFID etiketi anteni ve besleme devresi [8].

Etiketler her şekil ve büyüklükte olabilirler. Günümüze kadar üretilen en küçük etiketin bir kenarı 0,4 mm den küçük olan Hitachi mu-chip'i dir. Ofis ortamında basılan dokümanları izlemek üzere kâğıda yerleştirmek için tasarlanan ve sadece birkaç santimetreden okunabilen bir etikettir. RFID etiketleri oldukça büyük de olabilirler. Fast-Lane ve E-ZPass elektronik ücret toplama sisteminde kullanılan yarı pasif etiketler küçük bir kitap büyüklüğündedir. Bir anten ve beş yıl ömürlü bir batarya içerirler. Batarya sisteme daha büyük bir okuma mesafesi sağlamakta ve okumayı daha güvenilir yapmaktadır.

RFID etiketleri herkese açık olabilir ve herhangi bir okuyucu tarafından okunabilirler. Alternatif olarak, etiketler güvenli de olabilirler ve okuyucuya cevap vermeden önce okuyucunun bir şifre veya referans doğrulama sağlamasını isteyebilirler. RFID etiketlerin büyük bir çoğunluğu herkese açık olarak üretilmişlerdir. Bu tür etiketler diğerlerine göre daha ucuz olup daha kolay işletilebilirler. Şifre ya da şifrelenmiş kodlar kullanan sistemlerde, kodlar gelişmiş ve uygun şekilde kontrol edilerek dağıtılmalıdır. Bu oldukça zor bir işletme problemidir.

En basit RFID entegresi 64 ya da 96 bit'lik sadece okunabilen bir seri numara içerir. Seri numara üretici tarafından entegreye yazılabildiği gibi son kullanıcı tarafından da yazılabilir. Bazı entegrelere sadece bir kere seri numara yazılabilirken, bazı entegrelere de birçok defa farklı seri numara yazılabilir. Daha gelişmiş RFID entegreleri kullanıcı tarafından okunup-yazılabilen hafıza içerebilir. Entegrelerde, lastik şişkinliğini gösteren

hava basıncı sensörü gibi sensörler de bulunabildiği gibi kendi kendini yok etme özellikleri de olabilmektedir.

Birçok etiket aynı okuyucunun alanı içerisinde ise, okuyucu etiketlerden gelen sinyalleri çözemeyebilir. Bunun birlikte bazı uygulamalarda, bir seferde birçok etiketi okumak gerekebilmektedir. Bu uygulamalarda etiketlerin çarpışmazlık (anticollision) protokolünü ya da tekleştirme (singulation) protokollerini desteklemesi gerekir.

Elektronik ürün kodu (EPC) olan etiketler özel çeşit etiketler olup MIT Auto-ID Merkezi tarafından geliştirilen ve günümüzde EPCglobal organizasyonu tarafından işletilen EPC standartlarına sahiptirler.

Tablo 1 ve Tablo 2’de EPCglobal tarafından yayınlanan RFID “sınıfları” ve “nesilleri” görülmektedir. Tablo 3’de ise RFID etiketlerin çalışma frekansları ve kullanıldığı ülkeler listelenmiştir [1].

Tablo 1. EPC RFID Sınıfları [1]

| EPC Cihaz Sınıfı | Tanımlama                                      | Programlama                                            |
|------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Sınıf 0          | “Sadece okunabilir” pasif etiketler            | Üretici tarafından programlanır                        |
| Sınıf 1          | “Bir kere yazılır, çok okunur” pasif etiketler | Müşteri tarafından programlanır, tekrar programlanamaz |
| Sınıf 2          | Tekrar yazılabilir pasif etiketler             | Tekrar programlanabilir                                |
| Sınıf 3          | Yarı pasif etiketler                           |                                                        |
| Sınıf 4          | Aktif etiketler                                |                                                        |
| Sınıf 5          | Okuyucular                                     |                                                        |

Tablo 2. EPC RFID Entegre Nesilleri [1]

| Özellik                     | Nesil 1                                                               | Nesil 2                                                                        |
|-----------------------------|-----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| Frekans                     | 860-930MHz                                                            | 860-930MHz                                                                     |
| Bellek kapasitesi           | 64 ya da 96 bit                                                       | 96 ya da 256 bit                                                               |
| Alan programlanabilirliği   | Var                                                                   | Var                                                                            |
| Tekrar programlanabilirliği | Sınıf 0 – Sadece okunabilir<br>Sınıf 1 - Bir kere yazılır, çok okunur | Mevcut değil                                                                   |
| Diğer özellikler            | Mevcut değil                                                          | Daha hızlı ve daha güvenilir okunur. Diğer global standartlar ile daha uyumlu. |

Tablo 3. RFID Etiketlerin Çalışma Frekansları ve Kullanıldığı Ülkeler [3]

| Bant                       | Frekans                    | Sistem                | Bölge/Ülke                                                                     |
|----------------------------|----------------------------|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| Düşük Frekans (LF)         | 125-134 kHz                | İndüktif              | Amerika, Kanada, Japonya ve Avrupa                                             |
| Yüksek Frekans (HF)        | 13,56 MHz                  | İndüktif              | Amerika, Kanada, Japonya ve Avrupa                                             |
| Çok Yüksek Frekans (VHF)   | 433,05-434,79 MHz          | Yayılım (Propagation) | Avrupa, Amerika, Japonya                                                       |
| Ultra Yüksek Frekans (UHF) | 865-868 MHz                | Yayılım               | Avrupa, Ortadoğu, Singapur, Kuzey Afrika                                       |
| Ultra Yüksek Frekans (UHF) | 866-869 ve 923-925 MHz     | Yayılım               | Kuzey Kore, Japonya, Yeni Zelanda                                              |
| Ultra Yüksek Frekans (UHF) | 902-928 MHz                | Yayılım               | Amerika, Kanada, Güney Amerika, Meksika, Tayvan, Çin, Avustralya, Güney Afrika |
| Ultra Yüksek Frekans (UHF) | 952-954 MHz                | Yayılım               | Japonya                                                                        |
| Mikrodalga                 | 2,4-2,5 ve 5,725-5,875 GHz | Yayılım               | Amerika, Kanada, Avrupa, Japonya                                               |

RFID etiketlerin temaslı kartlara üstünlükleri şunlardır:

- 1) Ürünün içine yerleştirilebilirler,
- 2) Sert koşullara karşı dayanıklıdırlar,
- 3) Tekrarlanmayan ürün numarası sağlarlar,
- 4) Dolandırıcılara karşı daha güvenlidirler [7].

### 1.2.2. Okuyucular

RFID okuyucu, etikete radyo enerji darbeleri gönderir ve etiketten gelen cevabı dinler. Etiket bu enerjiyi algılar ve cevabı geri gönderir. Bu cevap seri numarası ve başka bilgiler de olabilir.

Basit RFID sisteminde, okuyucunun enerji darbesi aç-kapa anahtarı şeklinde çalışır. Daha gelişmiş sistemlerde ise okuyucunun RF sinyali etiket komutları, etiketin sahip olduğu alanları okumak için talimatlar ve şifreler olabilir.

RFID okuyucuları genelde aktiftirler, sürekli radyo enerjisi yayarlar ve okuma alanının içine bir etiketin girmesini beklerler. Bu bazı uygulamalarda gereksiz, pille beslenen cihazlarda ise istenmeyen bir durumdur. RFID okuyucusu, sadece harici bir uyarıcı geldiğinde radyo darbesi gönderecek şekilde düzenlenebilir.

Etiketler gibi okuyucular da değişik boyutlarda olabilirler. En büyük okuyucu masaüstü bilgisayar, bu bilgisayara bağlı özel bir kart ve bu karta bağlı birçok antenden oluşabilir. Bunun gibi bir okuyucunun bir ağ bağlantısı vardır ve okuduğu etiketin bilgisini diğer bilgisayarlara gönderir. En küçük okuyucu posta pulu kadardır ve cep telefonlarının içine konulacak şekilde tasarlanmıştır [1].

Şekil 3’de okuyucu, insan bedeni ve etiketin oluşturduğu devre modeli gösterilmiştir. Burada;

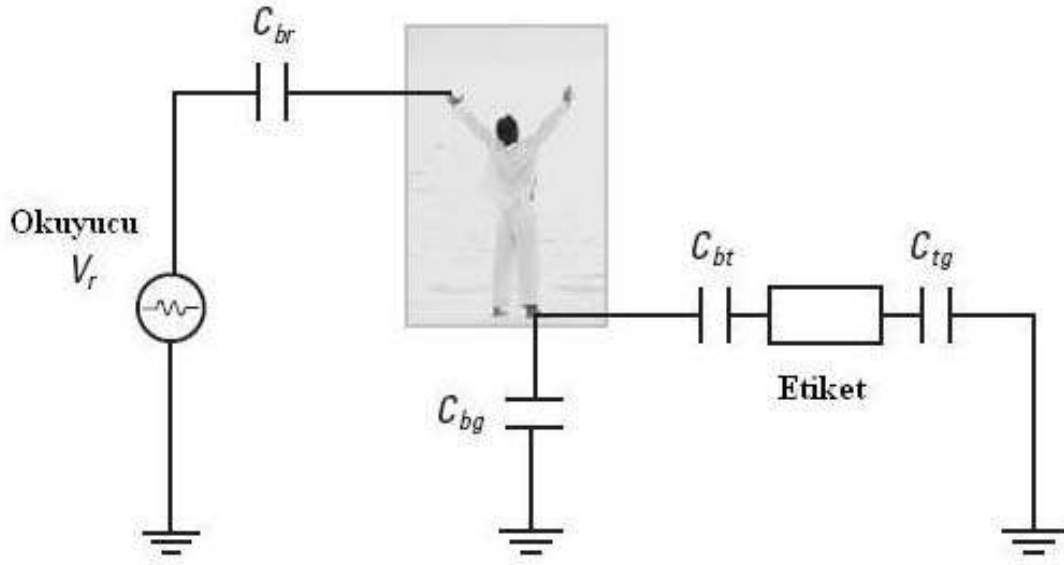
$C_{rb}$  : Okuyucu ve insan bedeni arasındaki kapasite

$C_{bg}$  : İnsan bedeni ile ortam toprağı arasındaki kapasite

$C_{bt}$  : İnsan bedeni ve etiket arasındaki kapasite

$C_{tg}$  : Etiket ile ortam toprağı arasındaki kapasite [8].

olarak ifade edilir.



Şekil 3. Okuyucu, insan bedeni ve etiketin devre modeli [3].

### 1.2.3. Antenler ve Radyo Karakteristiklerinin Seçimi

RFID fiziksel katmanı gerçek anten, okuyucu ile etiketin haberleşmesini sağlayan antenden oluşmaktadır.

Radyo enerjisi iki ana karakteristikte ölçülür.

- 1) Osilasyon frekansı,
- 2) Osilasyonun gücü.

RFID sistemlerinin çoğu lisanssız frekans bandını kullanmaktadır. Yaygın bantlar 125-134,2 kHz düşük-frekans (LF) bandı, 13,56 MHz yüksek-frekans (HF) bandı, 915 MHz ultra yüksek-frekans (UHF) bandı ve 2,4 GHz endüstriyel, bilimsel ve tıbbi sistem (ISM) bantlarıdır.

LF, HF ve UHF bant adları radyonun tarihi gelişimini göstermektedirler. Radyo sistemleri önce düşük frekansta yayına başlamışlar ve sonra teknolojinin gelişimi ile daha yüksek frekanslara geçmişlerdir.

Radyo enerjisi elektromanyetik dalgalarla iletilir. Her bir radyo dalgası belli bir frekans ve dalga boyuna sahiptir. Lisanssız bantlara ait dalga boyları Tablo 4’de verilmiştir.

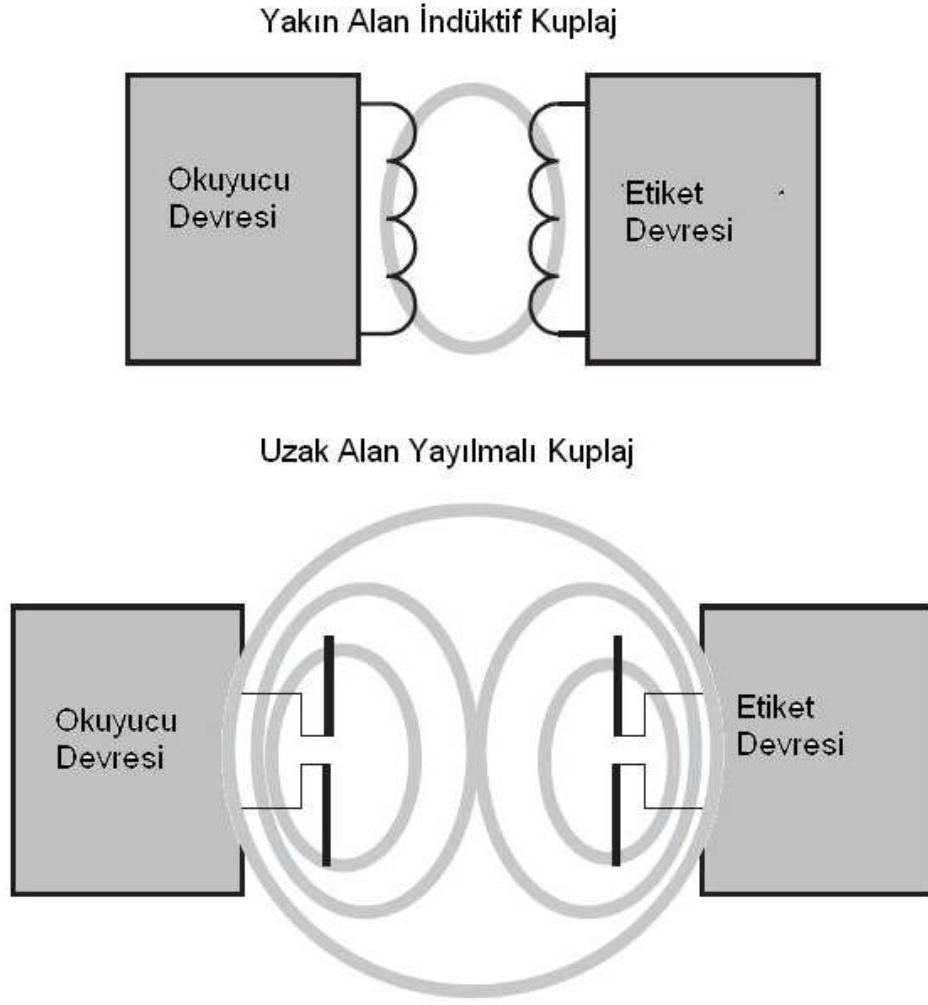
Tablo 4. Lisanssız bantlara ait dalga boyları [1,6].

| Bant | Lisanssız Frekanslar                                                | Dalga Boyu | Klasik Kullanımı                                                                              |
|------|---------------------------------------------------------------------|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| LF   | 125-134,2 KHz                                                       | 2400 m     | Havyan izleme ve anahtarsız giriş, araç tanımlama, elektronik bilet, ücret toplama            |
| HF   | 13,56 MHz                                                           | 22 m       |                                                                                               |
| UHF  | 865,5-867,6 MHz (Avrupa)<br>915 MHz (U.S.)<br>950-956 MHz (Japonya) | 32,8 cm    | Akıllı kartlar, lojistik ve parça yönetimi, bagaj etiketlemek, mal yönetimi, konteynır izleme |
| ISM  | 2,4 GHz                                                             | 12,5 cm    | Parça yönetimi, aktif etiketlerle uzak mesafeden tanımlama                                    |

Bina yakınlık (proximity) kartları, otomobil immobilizer entegreleri ve implant yapılabilen RFID ampulleri genelde LF bandında çalışır. FDA ( Gıda ve İlaç İdaresi ) reçeteli ilaçlar için HF bandını kabul etmiştir. Elektronik ürün kodu ( EPC ) sistemi HF ve UHF de çalışır.

LF ve HF cihazlarındaki dalga boyu RFID sistemlerindeki tipik çalışma mesafesinden daha büyük olmasından dolayı bu sistemler yakın alanda çalışır. Buna karşın UHF ve ISM sistemleri uzak alanda çalışır. Şekil 4' de yakın ve uzak alanda hangi kuplaj türü kullanıldığı gösterilmiştir.

Çoğu radyo sisteminde olduğu gibi, okuyucu ve etiketteki anten ne kadar büyük olursa RFID sistemi de o kadar iyi çalışır. Çünkü büyük antenler küçük antenlere göre genelde radyo enerjisini daha efektif gönderir ve alırlar. Böylece okuyucudaki büyük anten, etikete daha fazla enerjinin gönderilebileceğini ve etiket tarafından yayılan enerjinin de daha iyi toplanıp analiz edilebileceği anlamına gelir. Etiketdeki büyük anten ise daha fazla enerjinin toplanarak entegreyi beslemesi ve daha fazla enerjinin geri gönderilmesi anlamına gelir [1].



Şekil 4. Yakın ve uzak alandaki kuplaj [3].

#### 1.2.4. Ağ

RFID etiketlerinin çoğu okuyucuya sadece bir numara gönderir. Çoğu durumda okuyucu numarayı bir bilgisayara gönderir.

Bilgisayarın RFID kodu ile ne yapacağı uygulamaya bağlıdır. Giriş-kontrol sisteminde, bilgisayar RFID numarasının kapı veya bölgeye girişe izin verilen numaralar içinde olup olmadığına bakabilir. Eğer numara varsa, bilgisayar kapıya enerji verebilir.

Elektronik ürün kodu ile seri numara nesne isim servisini (ONS) oluşturan bilgisayar ağına gönderilir. Nesne isim servisi gruplanmış büyük bir veritabanıdır ve EPC kodu verilmiş nesne hakkında birçok bilgi içerir [1].

### 1.3. Kuplaj ve Okuma Mesafesi

Aktif ve pasif RFID sistemlerinin farklı okuma mesafeleri vardır. Bataryalar ve yüksek kazançlı antenler ile aktif RFID sistemleri, lisanssız diğer radyo sistemlerinin sahip olduğu menzillere lisanssız radyo sistem kuralları çerçevesinde sahiptirler. Örneğin A.B.D.’de lisanssız bir sistemin yayın gücü 1 watt olabilir, bu şartlar altında, yönlendirilmiş bir anten kullanıldığında sinyal birkaç km’ den alınabilir [1].

#### 1.3.1. Kuplaj

RFID sistemlerde okuyucu ve etiketlerin her ikisi de bir alıcı ve bir vericiye sahip olduklarından, bu yöntem aktif sistemlerde uzun mesafe iletişimi için idealdir. Etikete bir vericiyi yerleştirmek ve beslemek pahalıya mal olabilmektedir. Bu nedenle etiket fiyatı açısından hassas olan uygulamalar için genelde pasif etiket sistemi seçilir. Pasif etiketler, vericinin sustuğu ve alıcı duruma geçtiği durumlarda çalışabilmesi için enerjiye ihtiyaçları vardır. Bu yüzden enerji depolamak için kapasitör kullanmak gibi değişik yöntemler olmalı ya da farklı bir frekansta cevap vermelidirler. Bunun yerine RFID sistemleri tipik olarak yük modülasyonu ya da geri yansıma ile verici ve alıcıyı birbirine kuple ederler.

Yakın alanda, etiket ile okuyucu birbirlerine elektromanyetik olarak kuplaj olurlar. Okuyucu ve etiketin antenleri bobin şeklindedir. Okuyucunun bobininde akan akım bir manyetik alan oluşturur. Bu alan etiketin bobininde bir akım indükler. RFID sisteminin tasarımına göre okuyucu ve etiket, taşıyıcı dalganın genliğini, fazını veya taşıyıcının frekansını modüle ederek iletişim kurar. Bu modülasyon etiketin bobininde akım değişimi olarak doğrudan algılanabilir. Etiket anten yükünü değiştirerek okuyucu ile haberleşir. Bu sırasıyla okuyucunun anteninde oluşan gerilimin karşılıklı olarak etkiler. Etiket yükü hızlı bir şekilde açıp kapatarak kendi taşıyıcı frekansını oluşturabilir ve bu şekilde okuyucuya cevap verebilir.

Uzak alanda çalışan etiketler (UHF ve ISM bantlarında) okuyucuları ile geri yansıma kullanarak kuple olurlar. Geri yansıma bir elektromanyetik dalganın bir yüzeye çarpması ve dalganın enerjisinin bir kısmının vericiye geri yansımasıdır. Bu RADAR’ın ark planında olan temel fiziktir. Geri yansıyan enerjinin miktarı, yüzeyin elektromanyetik dalganın frekansı ile ne kadar iyi rezonansa geldiğine bağlıdır.

Okuyucu ve etiket arasında çok yaygın olmayan üçüncü bir kuplaj tipi, elektrostatik kuplaj vardır. Elektrostatik kuplaj nedeni ile okuyucu ve etiket antenleri yüklü levhalardır. Okuyucudaki levhaya elektron eklemek, elektronları levhadan etikete doğru itecektir ve tersine olarak etiketteki elektronlar okuyucuya itilecektir. Levha alanı elektrostatik kuplajdaki mesafeyi belirler. Elektrostatik kuplajın bir avantajı, anten yüzeylerinin iletken bir mürekkep ile yazılabilmesidir. Bundan dolayı anten tasarımları çok esnek ve ucuzdur [1].

### 1.3.2. Pasif RFID Sistemlerinin Okuma Mesafeleri

Pasif sistemler daha çok sınırlayıcı durumlarda çalışır. RFID etiketin okunabilmesi için hem kendi elektronik devresini beslemesi hem de cevap verecek sinyali üretmesini sağlayacak şekilde yeterli güç sağlanmalıdır. Bu nedenle pasif sistemlerin okuma mesafeleri aşağıdaki parametrelere bağlıdır [1]:

- 1)  $P_r$ : Okuyucu verici gücü (tipik 1 W)
- 2)  $S_r$ : Okuyucu alıcı hassasiyeti (tipik -80 dBm ya da 100 pW)
- 3)  $G_r$ : Okuyucu anten kazancı (tipik 6 dBi)
- 4)  $G_t$ : Etiket anten kazancı (1 dBi )
- 5)  $P_t$ : Etiketin güç gereksinimi (tipik 100  $\mu$ W ya da -10 dBm)
- 6)  $E_t$ : Etiketinin modülasyon verimliliği (tipik -20 dB)

Bir sistemi, ya etiketi beslemek için mevcut olan güç ya da etiketin iletimini algılayabilecek okuyucunun yeteneği sınırlandırır. Çünkü RFID sisteminin hedefi entegreleri olabildiğince ucuz yapmaktır. Okuyucuları çok hassas yapmak için çok fazla yatırım yapılabilir. Böylece, çok iyi tasarlanmış RFID sistemini etiket için mevcut güç sınırlandırır.

Bu gibi bir sistemin okuma mesafesini artırmanın bir yolu etiketten daha fazla güç toplayacak büyük anten kullanmaktır. Büyük okuma mesafeleri teorik olarak mümkün olmakla beraber, gürültü ve başka faktörler uzun mesafeli okuyucular yapmayı zorlaştırmaktadır [1].

#### 1.4. Mifare RF Arabirimi

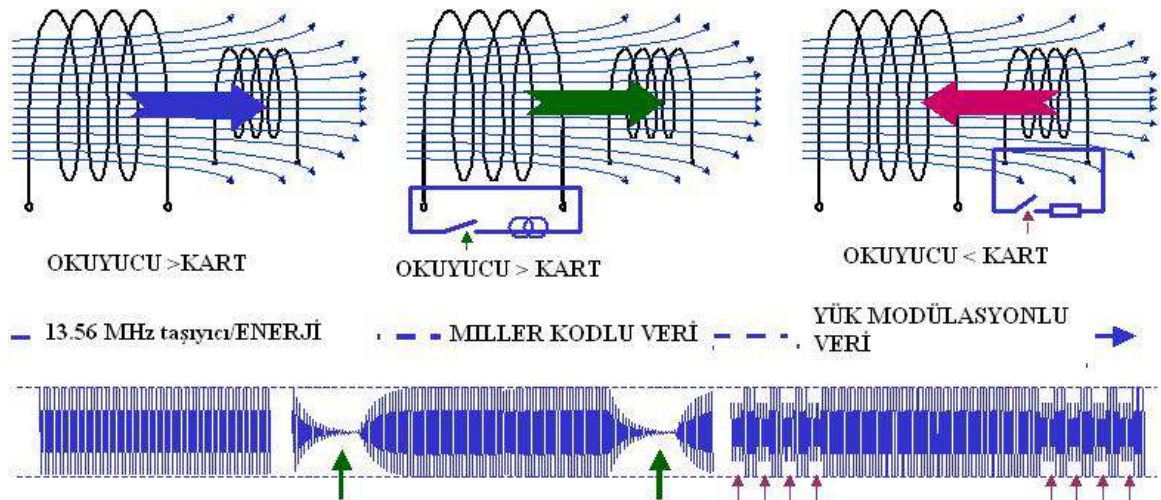
Mifare teknolojisi, okuyucu ve etiket arasındaki iletişim için ISO 14443-Tip A uyumlu bir RF arabirimi olarak tanımlanabilir.

Tablo 5’de Mifare RF arabirimi ile ilgili bazı bilgiler verilmektedir. Genelde Mifare RF ara yüzü transformatör ilkesine dayanır, bununla birlikte okuyucu ve etiket antenleri rezonans devreleridir. Etiket herhangi bir yerleşik pil olmadığı durumda pasif haldedir. Bu yüzden, okuyucu ve etiket arasındaki iletişime ek olarak okuyucudan etikete bir enerji iletiminde gereklidir [4].

Tablo 5. Mifare Arabirimi Parametreleri [4].

|                         |                                             |
|-------------------------|---------------------------------------------|
| <b>Enerji İletimi</b>   | Transformatör ilkesi; Mifare kart pasif.    |
| <b>Çalışma Frekansı</b> | 13,56 MHz                                   |
| <b>İletişim yapısı</b>  | Yarı çift yönlü, ilk olarak okuyucu konuşur |
| <b>Veri Hızı</b>        | 105,9 kHz                                   |
| <b>Veri İletimi</b>     | 100 % ASK, Modified Miller Code             |
| <b>Okuyucu → Etiket</b> | Yük Modülasyon, Alt Taşıyıcı 847,5 kHz,     |
| <b>Etiket → Okuyucu</b> | OOK, Manchester Code                        |

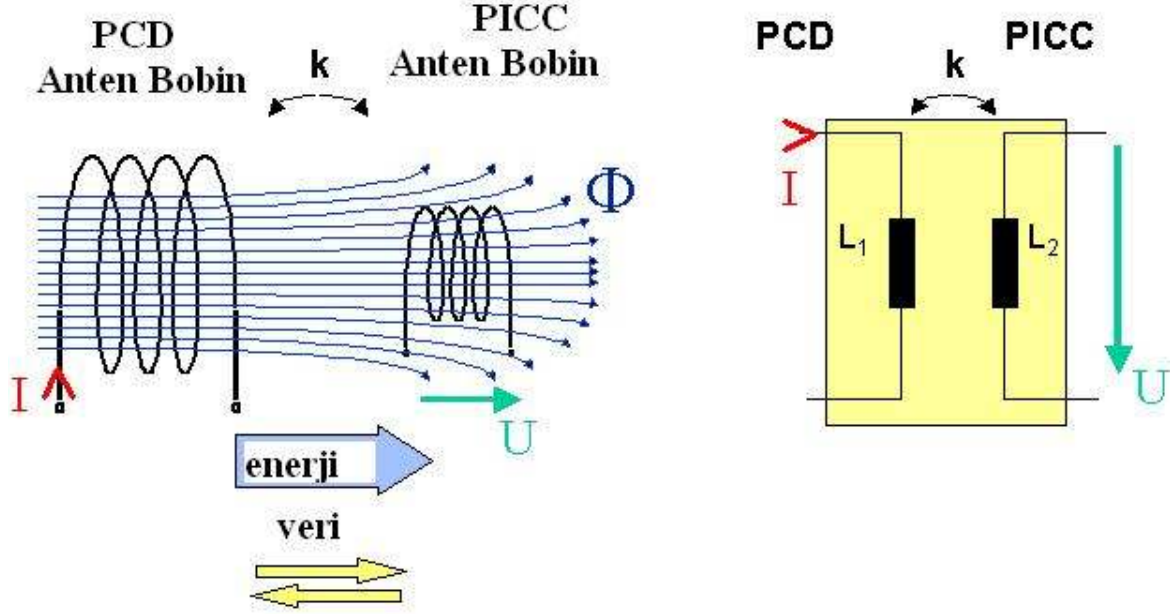
Şekil 5’de temel olarak Mifare RF arabiriminin çalışması gösterilmiştir [4].



Şekil 5. Mifare arabiriminin çalışmasının basit olarak gösterimi [4].

### 1.4.1. Enerji İletimi

Okuyucudan pasif etikete enerji iletimi transformatör ilkesine dayanmaktadır. Şekil 6'da temel ilke ve eşdeğer elektriksel devre görülmektedir.



Şekil 6. Transformatör modeli

Şekil 6'da sol tarafta antenler ve enerji iletimi gösterilmektedir. Okuyucu anten bobininden geçen  $I$  akımı bir  $\Phi$  manyetik akısı üretir. Bu  $\Phi$  manyetik akısının bir kısmı kart bobininden geçer ve kart bobininin uçlarında  $U$  gerilimini üretir. Bu  $U$  gerilimi doğrultulur ve çalışma gerilimi seviyesine ulaşıldığında IC kartı aktif hale gelir. Okuyucu anten ve etiket arasındaki mesafeye bağlı olarak indüklenen gerilim değişecektir. Bu gerilim değişiminden dolayı ulaşılabilir çalışma mesafesi iletilen güç ile sınırlıdır.

Ana parametrelerden biri olan kuplaj katsayısı  $k$ ;

$$k = \frac{\phi_2}{\phi_1} \quad (1.1)$$

ile tanımlıdır. Burada;

$\Phi_2$ : Etiket bobininden geçen manyetik akı

$\Phi_1$ : Okuyucu bobininden geçen manyetik akı

olarak ifade edilebilir.

Şekil 6' de sağ tarafta ise bu transformatör modelinin eşdeğer elektriksel devresi görülmektedir [4].

#### 1.4.2. Okuyucudan Etikete Veri İletimi

Okuyucu ve etiket arasındaki veri aktarımı için yarı çift yönlü bir iletişim kavramı kullanılmaktadır. Haberleşmeyi daima okuyucu başlatır. Okuyucudan etikete veri iletiminde ISO14443 Tip A standardında % 100 ASK modülasyonu kullanılır. Şekil 7'de tipik bir işaret biçimi görülmektedir.



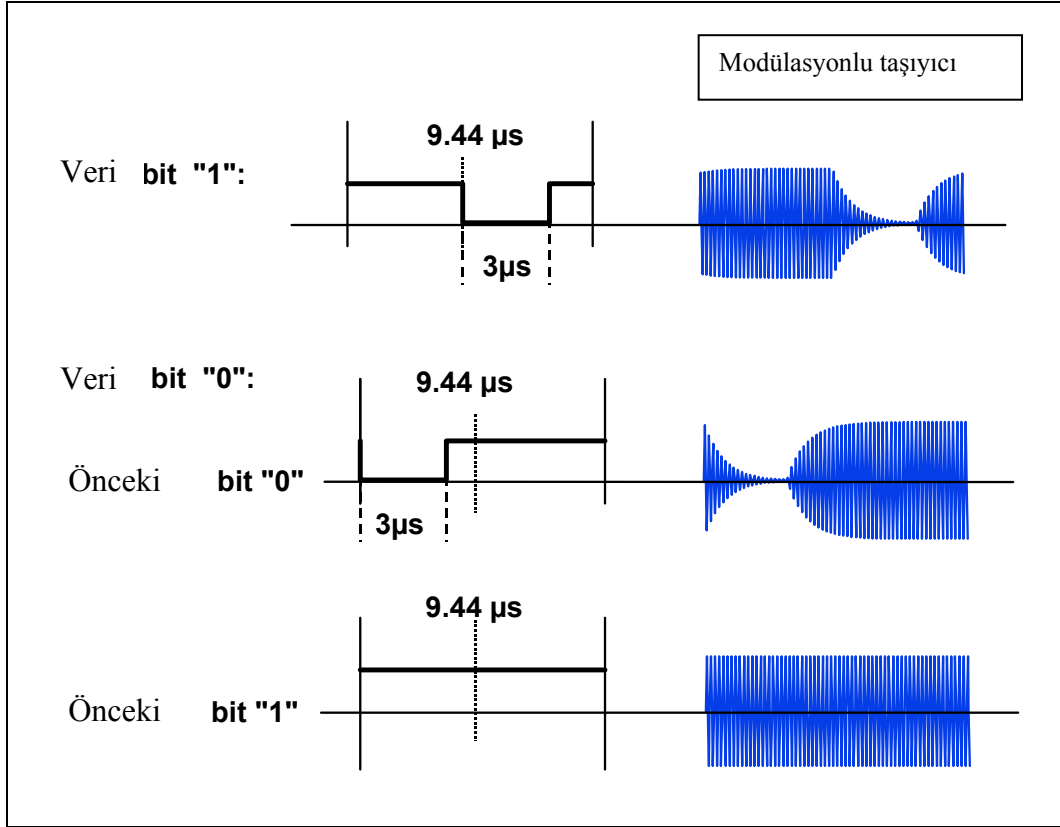
Şekil 7. Okuyucudan etikete veri iletiminde tipik işaret biçimi [4].

Antenin Q kalite faktöründen dolayı iletilen işaret Şekil 7' de gösterildiği gibi işaret biçimi bozulmaya uğramaktadır. Bu işaret biçimi anten ayarını ölçmek için kullanılabilir. Etiket pasif olduğu için okuyucu ve etiket arasındaki iletişim esnasında etiket için ayrıca enerji sağlanmalıdır. Bu nedenle Mifare (ISO14443A) etikete yapılan veri aktarımından bağımsız olarak sabit bir enerji seviyesi sağlamak için optimize edilmiş kodlama kullanılmaktadır. Bunun için Şekil 8'de gösterilen Değiştirilmiş Miller Kod (Modified Miller Code) tekniği kullanılmaktadır.

Şekil 8'de de görüldüğü üzere bir bit çerçevesinin boyu  $9.44\mu s$  olduğu için Mifare için varsayılan veri hızı 105,9 KHz'dir. Miller kodlamada bir darbe  $3\mu s$  uzunluğa sahiptir.

Lojik olarak "1" bit çerçevesinin merkezinde bulunan bir darbe ile ifade edilir. Lojik "0" kodu için iki olasılık bulunur. Bu kodlama bir önceki bite bağlıdır.

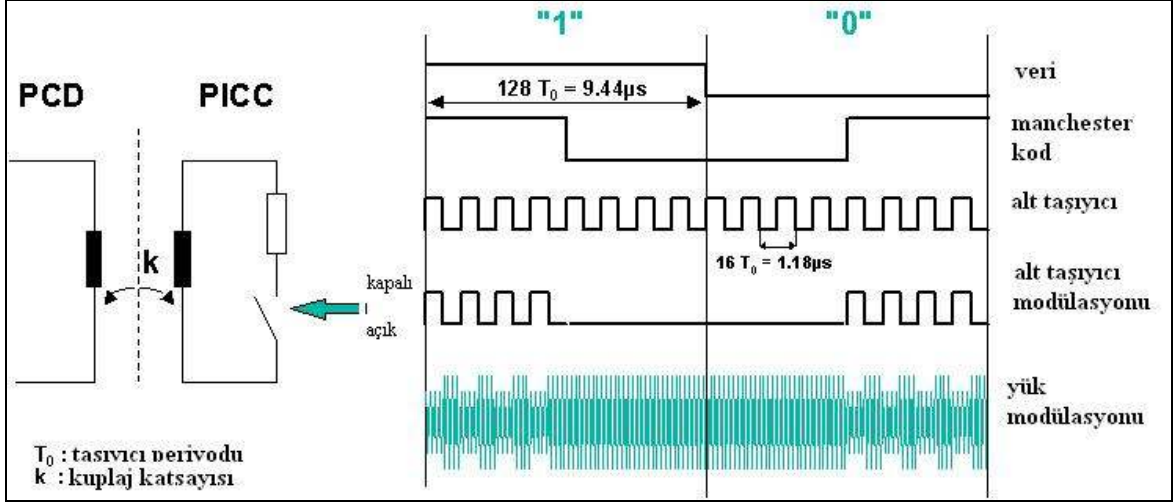
Eğer önceki bit "0", ise bir sıradaki "0" sonraki bit çerçevesinin ilk yarısındaki  $3\mu s$  bir darbe ile ifade edilir. Eğer önceki bit "1" ise sıradaki "0" sonraki bit çerçevesinde darbe olmaksızın ifade edilir [4].



Şekil 8. Okuyucudan etikete veri iletiminde kullanılan Miller kodlama

### 1.4.3. Etiketden Okuyucuya Veri İletimi

Etiketden okuyucuya veri aktarımında Şekil 9’da gösterilen yük modülasyonu ilkesi kullanılır. Etiket, okuyucu tarafından üretilen enerjiyi kullanan bir rezonans devresi olarak tasarlanmıştır. Bu enerji tüketimi okuyucu üzerinde bir gerilim düşümü olarak etkisini gösterir. Bu etki IC kartında yük değişimi yoluyla etiketten okuyucuya veri aktarımı için kullanılır.



Şekil 9. Alt taşıyıcılı yük modülasyonu ilkesi

Okuyucu anteninin rezonans frekansı  $f_R = 13,56$  MHz'e ayarlıdır.

$$T_0 = \frac{1}{f_R} = \frac{1}{13,56 \cdot 10^6} = 74 \cdot 10^{-9} s \approx 74 ns. \quad (1.2)$$

olarak yazılabilir. Burada  $T_0$  zamanı çalışma frekansının darbe süresini ifade eder.

Rezonans devresi okuyucu antende besleme geriliminden birkaç kat daha yüksek bir gerilim üretir. Okuyucu ve etiket anteni arasındaki küçük kuplaj katsayısı nedeniyle etiketin cevabı okuyucu tarafından üretilen gerilimin 60 dB kadar altında kalır. Böyle bir işareti tespit edebilmek için çok iyi tasarlanmış bir alıcı devresi gerekir. Manchester kodlaması kullanılarak 105.9kbit/s'lik veri hızıyla etiketten okuyucuya veri aktarımı gerçekleşmektedir. Manchester kodlamasında her bir bit bir bit çerçevesinin merkezinde yükselen ya da düşen kenar ile ifade edilir. Bu Mifare ilkesi için Şekil 9'un sağ tarafında gösterilmiştir. Şekil 9' da görüldüğü gibi Lojik "1" bit çerçevesinin merkezinde düşen kenar ile lojik "0" da bit çerçevesinin merkezinde yükselen kenar ile ifade edilmektedir.

Bu kodlanmış veri bir alt taşıyıcı ile modüle edilir.

$$f_{SUB} = \frac{f_R}{16} = 847.5 kHz. \quad (1.3)$$

Son olarak, bu modüle edilmiş alt taşıyıcı etiketin yükünü değiştirerek Şekil 9'un en son satırında gösterildiği gibi yük modülasyonunu gerçekleştirir. Bu işarete okuyucu tarafından alınarak çözülür.

Şekil 10' da yük modülasyonunun zaman bölgesi ve frekans bölgesi arasındaki ilişki görülmektedir.

Buradaki veri hızı;

$$v \approx 106 \text{ k Bd} \approx \frac{1}{9.44 \mu s} \quad (1.4)$$

dir. Manchester kodu alt taşıyıcı frekansının her iki yanında  $f_{mSUB}$  frekansında yan bantlar oluşturur.  $f_{mSUB}$  frekansı;

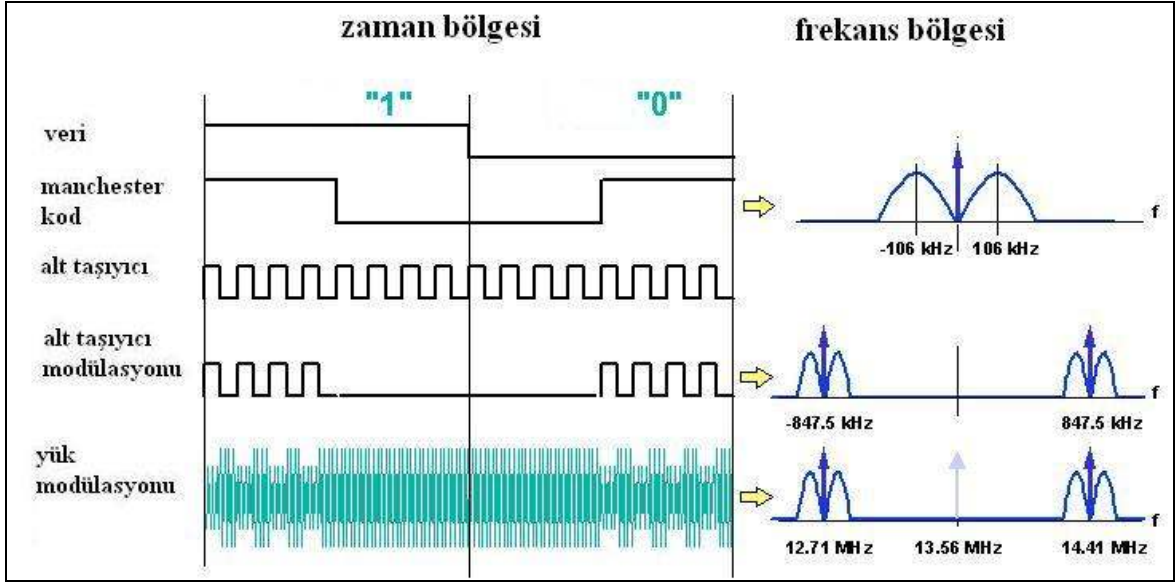
$$f_{mSUB} = 847.5 \text{ kHz} \left| \begin{array}{c} \pm 106 \text{ kHz} \\ \text{Subcarrier} \end{array} \right| \left| \begin{array}{c} \pm 106 \text{ kHz} \\ \text{Data} \end{array} \right| \quad (1.5)$$

şeklinde hesaplanabilir.

Alt taşıyıcı modülasyonunun sonucunda taşıyıcı frekansının her iki yanında  $f_{mR}$  frekansında yan bant işaretleri meydana gelir.  $f_{mR}$  frekansı;

$$f_{mR} = 13.56 \text{ MHz} \left| \begin{array}{c} \pm 847.5 \text{ kHz} \\ \text{Carrier} \end{array} \right| \left| \begin{array}{c} \pm 847.5 \text{ kHz} \\ \text{Subcarrier} \end{array} \right| \left| \begin{array}{c} \pm 106 \text{ kHz} \\ \text{Data} \end{array} \right| \quad (1.6)$$

şeklinde hesaplanabilir [4].



Şekil 10. Etiketten okuyucu olan veri iletiminde kullanılan kodlamanın zaman ve frekans bölgesinde gösterimi [4]

#### 1.4.4. Okuyucu Anten

Yakınlık RFID sistemi için erişilebilir çalışma mesafesi

- 1) Okuyucu ve etiket anten boyutlarına,
- 2) Anten uyumlandırılmasına,
- 3) Antenin kalite faktörüne ve uygunlaştırma devresine,
- 4) Okuyucunun gücüne,
- 5) Çevresel etkilere

bağlıdır.

Anten uyumunun optimize edildiği, Q-faktörün, etiket anten ve gönderilen gücün belirli olduğunun kabul edilmesi durumunda anten tasarımı için sadece okuyucu anten boyutu ve çevresel etkiler dikkate alınabilir [4].

##### 1.4.4.1. Okuyucu Anten Boyu

Şekil 11’de gösterilen transformatör ilkesine dayanarak ve elektromanyetik indüksiyon yasası yardımıyla çalışma mesafesi ve okuyucu anten büyüklüğüne bağlı olarak ortalama akı yoğunluğu hesaplanabilir. Ek 7.1’ de verilen formülasyon ile bu

hesaplama bir dairesel anten için yapılabilir. İlke dikdörtgen bir anten için de aynıdır ve dairesel ve dikdörtgen anten için sonuçlar bobin alanı hesaba katılarak karşılaştırılabilir.

ISO14443-2' de belirtilen minimum gerekli alan şiddetinin sınırı

$$H_{\min} = 1.5 \frac{A}{m} \quad (1.7)$$

olarak belirlenmiştir. Kuplaj katsayısı çalışma mesafesine ve okuyucu anten yarıçapına bağlı olarak hesaplanabilir.

Şekil 11' e bakıldığında kural olarak;

$$x = R = \frac{D}{2} \quad (1.8)$$

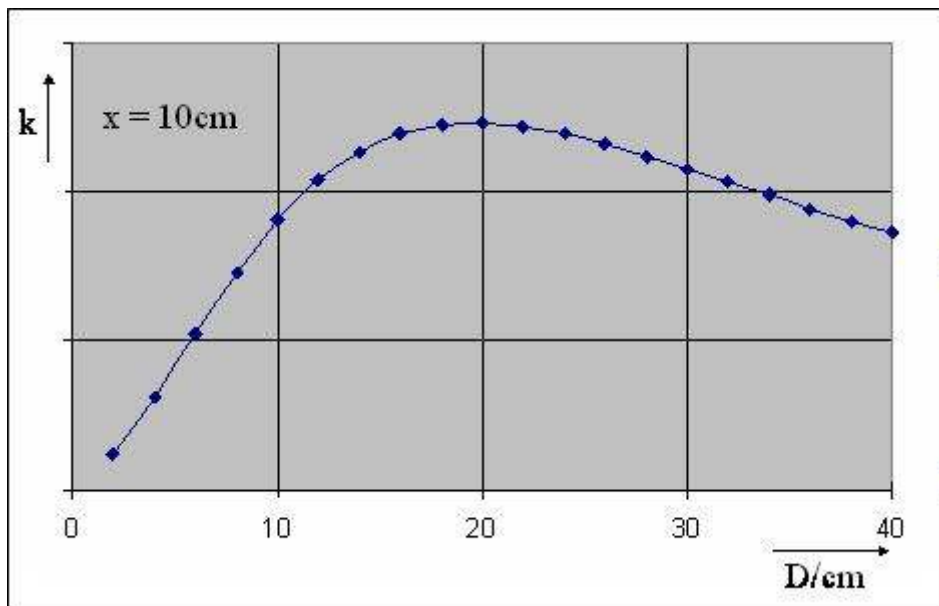
şeklinde yazılabilir. Burada;

x: Maksimum çalışma mesafesi

R: Okuyucu anten yarıçapı

D: Okuyucu anten çapı

ile tanımlıdır.



Şekil 11. Anten çapı ile kuplaj katsayısının değişimi

Şekil 11 çalışma mesafesi  $x=10$  cm için gerekli olan anten çapının kuplaj katsayısı  $k$  ile değişimini göstermektedir. Şekil 11’de En uygun anten çapı  $D=20$  cm olduğu görülmektedir. Yani daha büyük veya daha küçük anten kullanımı daha iyi sonuç vermeyecektir. Şekil 11’deki eğriye bakıldığında, üst kısmı çok düz olsa da 16cm’ den düşük anten çapları için kuplaj katsayısında (ve başarımları) önemli ölçüde bir azalma görülmektedir. Kuplaj katsayısı ve başarımları, 12 cm den düşük anten çaplarında kayda değer bir düşüş görülmektedir [4].

#### **1.4.4.2. Çevresel Etkiler**

##### **1.4.4.2.1. Metal Çevre**

Herhangi bir değişken manyetik alan, okuyucu antenin yakınına konumlanmış metal bileşenler üzerinde bir gerilim oluşturur. Bu indüklenen gerilim metal düzlemde girdap akımları üretir. Bu girdap akımları manyetik alanın azalmasına ve antenin ayarının bozulmasından dolayı kayıplara neden olur. Bu etkilerin sonucu çalışma mesafesinin düşmesiyle olası iletim hataları olarak ortaya çıkar.

Bu nedenle anten ve büyük metal bileşenler arasındaki mesafenin en azından çalışma mesafesi kadar büyük olması önerilir. Metalik çevrenin olumsuz etkilerini azaltmak için ferrit ekranlama kullanılmalıdır [4].

##### **1.4.4.2.2. Çoklu Okuyucu Antenler**

Antenler yüksek kalite faktörlü ve belli bir çalışma frekansı için ayarlanmış rezonans devreleridir. Karşılıklı kanununa göre iyi bir verici anten aynı zamanda iyi bir alıcı anten olarak kabul edilir. Bu kullanılan okuyucu antene aynı frekansta başka bir anten yaklaştırıldığında, yaklaştırılan antenin okuyucu antendeki enerjiyi dağıttığı anlamına gelir.

Bu anten ayarının bozulmasına ve çalışma mesafesinin azalmasına neden olur. Eğer bir Mifare uygulaması için iki aktif anten birbirine yakın noktalara konumlandırılmış ise kartın haberleşmesi bozulacaktır.

Çoklu yakınlık antenlerde eğer manyetik koruma kullanılırsa birbirlerinden 30 cm, eğer manyetik koruma kullanılmazsa anten yarıçapının 10 katı mesafe uzaklıkta tutulmalıdır [4].

#### **1.4.4.2.3. Sıcaklık**

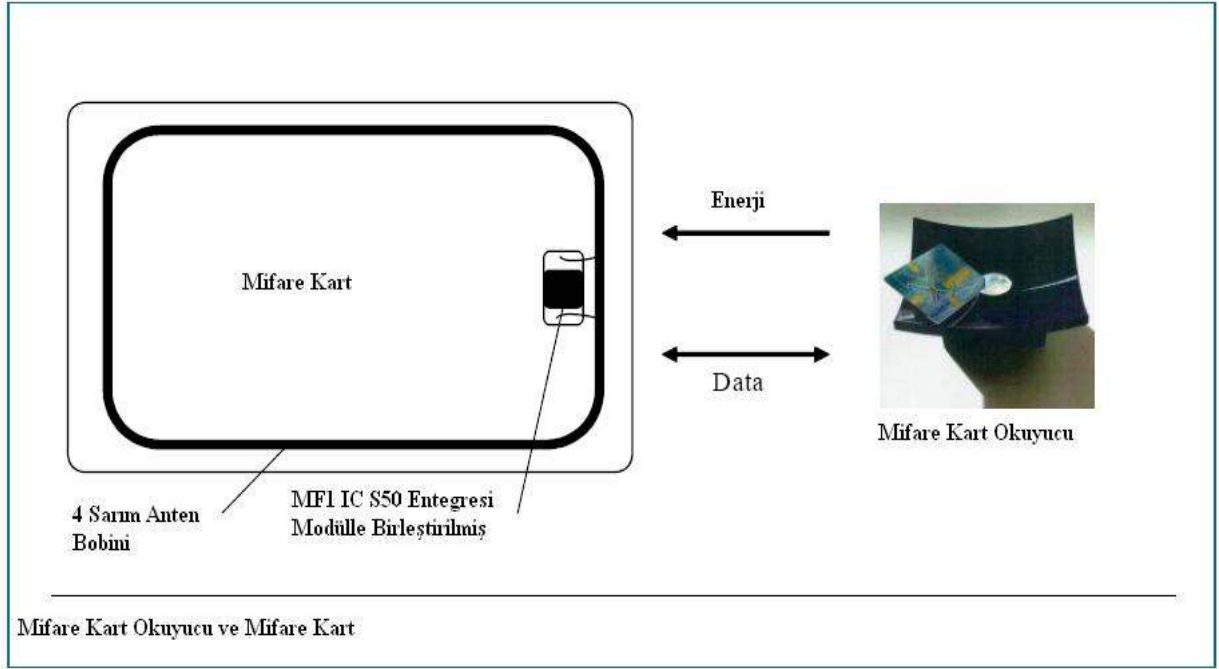
Uyumlama devresinin ve antenin elektriksel parametrelerinin sıcaklık kayması sonucu olarak okuyucu antenin ayarı bozulabilir. Bu da antendeki mevcut verici gücünün azalmasına neden olacaktır. Sonuç olarak çalışma mesafesi azalacaktır. Uyumlama devresinin elemanları sıcaklık katsayıları düşük elemanlardan seçilirse, sıcaklık kaymasının etkisi daha az olacaktır [4].

### **1.5. Mifare MF1 IC S50**

NXP kontaklı etiketlerde (etiket) kullanmak üzere ISO/IEC 14443 standardına göre tasarladığı bir entegredir [6].

#### **1.5.1. Kontaklı Enerji ve Veri İletimi**

Mifare sisteminde, Şekil 12' deki gibi MF1 IC S50 entegresi birkaç sarımlı bobin ve plastik kılıfa pasif etiket oluşturmak için bağlanmaktadır. Herhangi bir bataryaya ihtiyaç yoktur. Etiket ile okuyucu arasındaki haberleşme hızı 106 kBit/s' dir [6].



Şekil 12. Mifare kart okuyucu ve Mifare etiket [6].

### 1.5.2. Çarpışmazlık

Gelişmiş bir çarpışmazlık fonksiyonu ile eşzamanlı olarak alan içindeki birkaç kart ile işlem yapmak mümkündür. Çarpışmazlık algoritması her bir kartı ayrı olarak seçmeyi ve seçilen bir kart ile hatasız işlem yapmayı sağlamaktadır [6].

### 1.5.3. Kullanıcı Kolaylığı

Mifare sistemi optimum kullanıcı kolaylığı için tasarlanmıştır. Örneğin yüksek veri transfer hızı sayesinde toplu taşıma araçlarında komple bilet işlemi için 100 ms' den daha az süre gerektirir. Bu nedenle Mifare sisteminde kart kullanıcılarının anten önünde durmasına gerek yoktur ve bu sayede otobüse binış süresi kısalmaktadır. Ayrıca Mifare sisteminde, içinde metal paralar olsa bile kartın cüzdandan çıkarılmasına da gerek kalmamaktadır [6].

#### **1.5.4. Güvenlik**

Güvenlikte özellikle sahtekarlığa karşı özel önlemler alınmıştır. Karşılıklı sorgulama ve cevap doğrulama, veri şifreleme ve mesaj doğrulama kontrolleri bu sistemi herhangi bir müdahaleye karşı korumakta ve böylece bilet uygulamaları için bu sistem cazip hale gelmektedir. Değiştirilemeyen seri numaraları, her bir kartın eşsizliğini garanti etmektedir [6].

#### **1.6. Anten Koruma ve Kompanzasyon**

**Elektriksel Koruma:** Elektriksel koruma, bobin anten tarafından üretilen elektriksel alanın yanı sıra okuyucu PCB'nin elektrik alanını da soğurur [4].

**Kompanzasyon:** Kompanzasyon ortak modlu toprak akımlarını azaltmak için kullanılmaktadır [4].

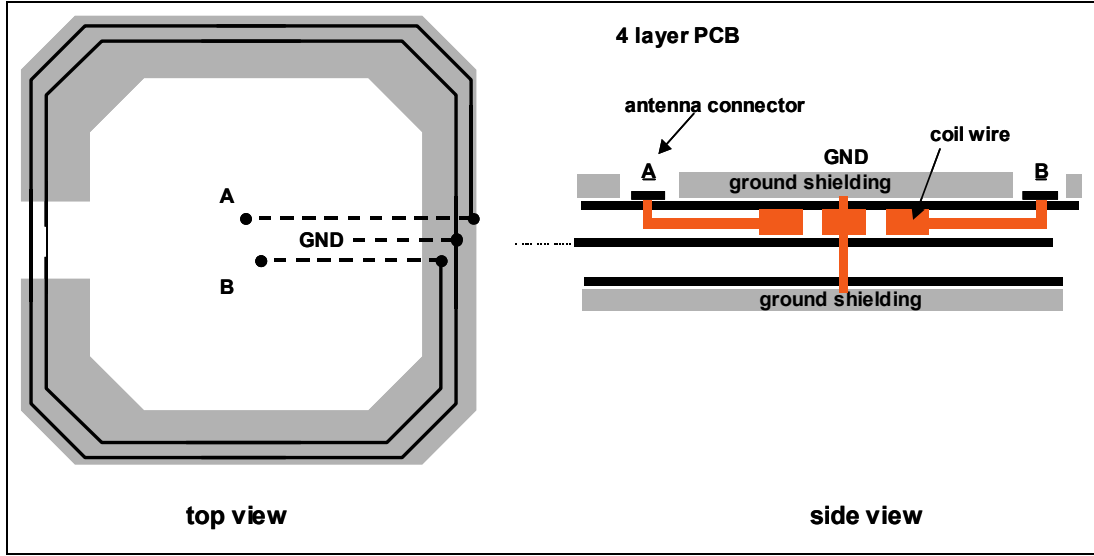
**Ferrit Koruyucu:** Eğer anten bir metalin yakınına konumlandırılmışsa ferrit koruyucu kullanılmalıdır. Anten yakınına konumlanmış metaller üzerinde girdap akımları oluşur. Çalışma mesafesinin önemli ölçüde azalması bu girdap akımlarının etkisidir. Bu nedenle girdap akımları azaltmak için ferrit koruyucu kullanılmaktadır [4].

##### **1.6.1. Elektriksel Koruma**

Elektriksel koruma, anten bobinin kendi kendine ürettiği elektrik alanı azaltmak için kullanılır [4].

##### **1.6.1.1. Doğrudan Uyumlu Antenler**

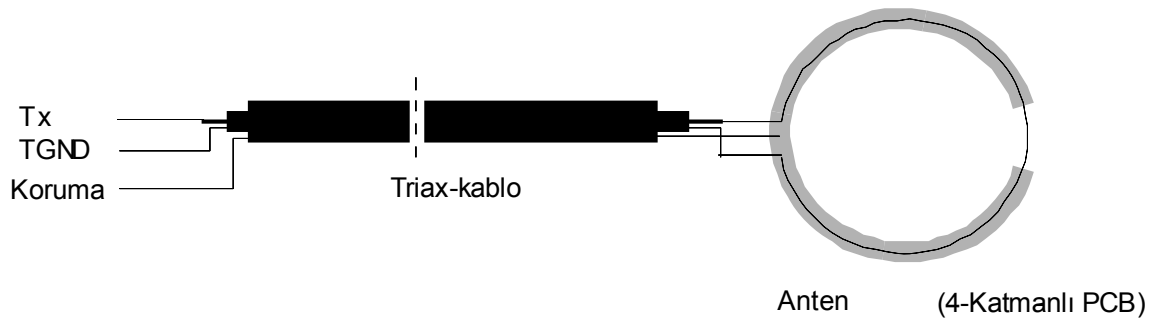
PCB üzerinde korumalı bir anten yapmak için en üst ve en alt kat üzerinde koruma halkaları bulunan en az 4 tabakalı bir kart kullanılmalıdır. Bu halkalar birbirine yakın olmamalıdır. Bu halkalar elektriksel korumayı sağlarlar ve EMC davranışını iyileştirirler. Koruma sistemi bir noktada toprak bağlantısına sahip olmalıdır. Bobin ilk iç katmanında yönlendirilir. Bobinin merkez bağlantısı toprak (GND) ile bağlantılıdır. İlave endüktanstan kaçınmak için bobin uçlarının bağlantısı uyumlama devresi ile birlikte yönlendirilmelidir [4].



Şekil 13. Doğrudan uyumlu anten için elektriksel koruma [4]

#### 1.6.1.2. 50 $\Omega$ Uyumlu Anten

PCB üzerinde korumalı bir anten yapmak için en üst ve en alt kat üzerinde koruma halkaları bulunan en az 4 tabakalı bir kart kullanılmalıdır. Bu halkalar yakın olmamalıdır. Bu halkalar elektriksel korumayı sağlar ve EMC davranışını iyileştirir. Koruma sistemi bir noktada toprak bağlantısına sahip olmalıdır [4].

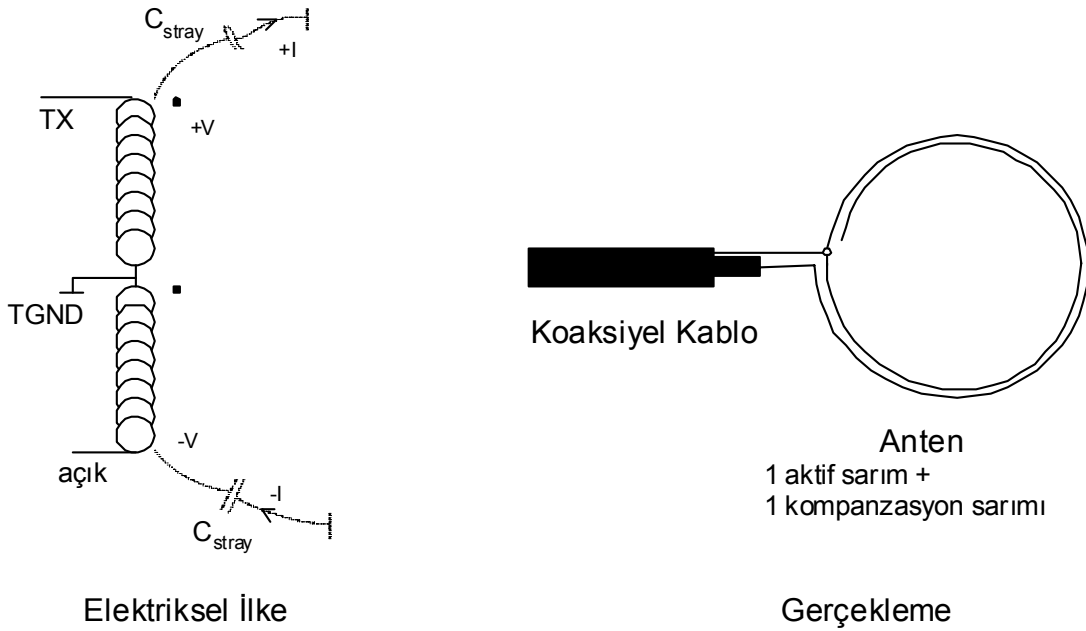


Şekil 14. 50  $\Omega$  uyumlu anten için üç-eksenli (triax) kablo kullanılarak elektriksel koruma [4]

PCB'nin üst ve alt katmanları üzerine PCB'nin bir iç katmanı olan aktif anten halkası üstüne bir koruma düzlemi doğrudan yerleştirilir. Bu koruma düzlemleri birbirine yakın olmamalıdır. Koruma bir üç-eksenli kablo ile bağlanmalıdır [4].

### 1.6.2. Kompanzasyon

Antenin parazit kapasitesini kompanze etmek için açık uçlu başka bir sarım eklenir. Transformatör ilkesinden dolayı açık halkada indüklenen gerilim fazı ters döner. Aktif parazit kapasitesi ve kompanzasyon halkası hemen hemen aynı değerdedir. Bu kapasitelerden geçen akımlar aynı genliğe sahip fakat zıt fazlı olacaktır. Böylece bu akımlar kompanze olmuş olur. Bu akımlar 13,56 MHz’de birkaç mA değerlerine ulaşabilir, bu yüzden toprak akımları ile ilgili problemlerden kaçınmak için kompanzasyon gereklidir [4].



Şekil 15. Kompanze edilmiş 50  $\Omega$ 'luk anten [4]

### 1.6.3. Ferrit Koruma

Bir ferritin yararı metal etkisine karşı bir antene kalkan olmaktır. Eğer metal antene çok yakın yerleştirilmişse alternatif manyetik alan metal üzerinde girdap akımları üretir. Bu girdap akımları gücü soğurur ve azalan endüktans ve kalite faktörü nedeniyle anten ayarının bozulmasına yol açar. Bu nedenle metalik ortamda bir antenin düzgün çalışması için, ferrit ile anteni korumak gerekir [4].

### 1.7. Anten Seçimi

Micore, harici yükselteç olmaksızın 100 mm çalışma mesafesine erişebilmek için tasarlanmış, IC ailesinden bir tek yonga okuyucudur. Geri kalan pasif RF kısmın tasarımı kolaydır.

Anten ve uyumlama devresinin tasarımı için iki farklı yöntem vardır.

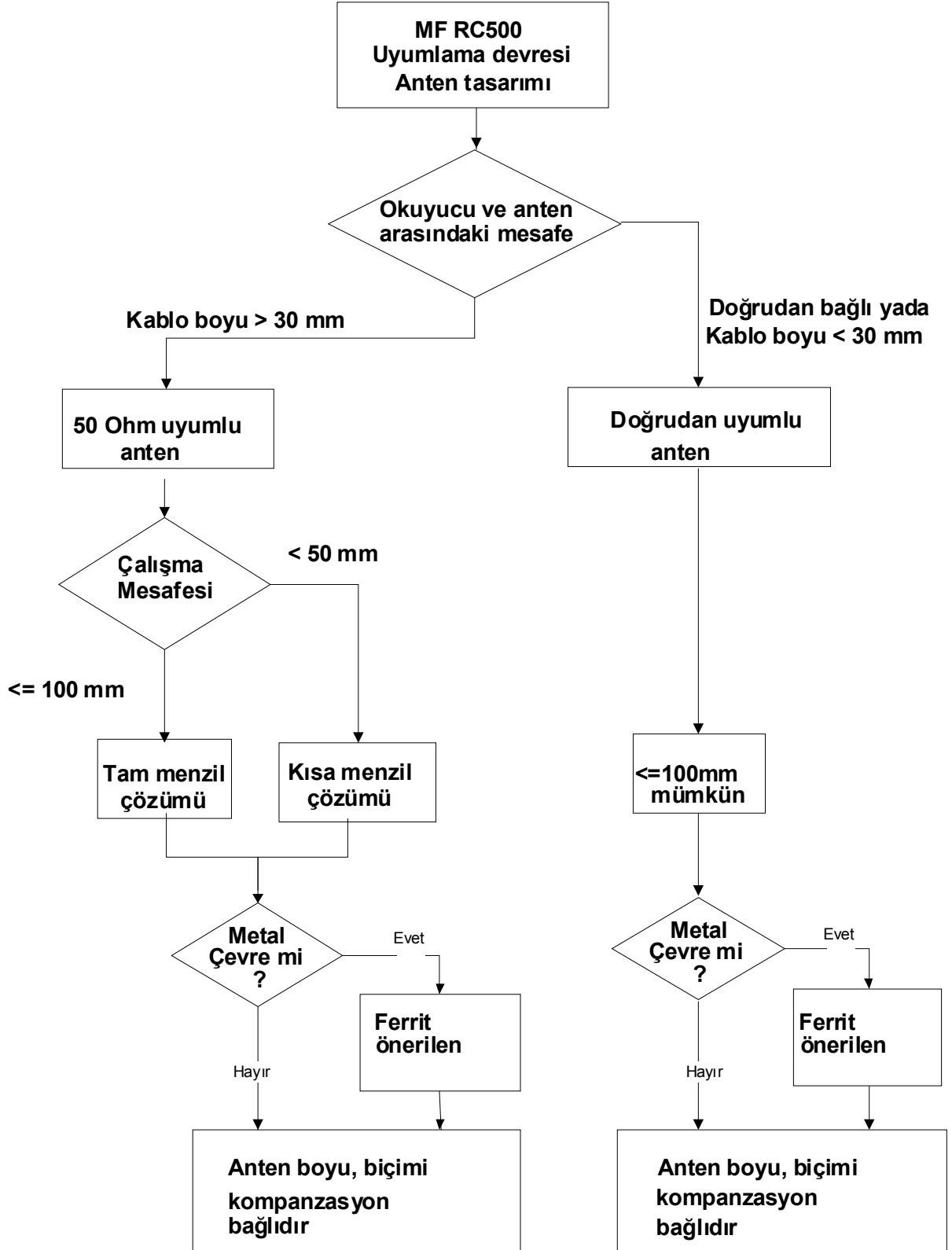
- 1) Doğrudan uyumlu antenler, okuyucu ve anten arasında minimum mesafeli tam ve küçük terminaller kurmak için kullanılır. Olası uygulamalar küçük konutlarda bir erişim kontrol okuyucu ya da el okuyucusu şeklinde olabilir.
- 2) 50  $\Omega$  antenler, okuyucu ve anten arasında uzun mesafeler olduğu durumda bir koaksiyel kablo kullanarak bağlantı sağlamak için kolay bir çözümdür. Okuyucu uyumlama devresi ile anten arasına, koaksiyel kablo kullanarak 10m'ye kadar mesafe koymak mümkündür.

İlk olarak, uygulama gereksinimlerini en iyi şekilde karşılayacak sistem parametreleri belirlenmelidir.

Şekil 16'da tasarım akış diyagramı görülmektedir. Tablo 6 'da ise antenlerin karşılaştırılması yapılmıştır [4].

Tablo 6. Antenlerin Karşılaştırılması [4].

| İçerik  |                        | 50 $\Omega$ uyumlu                                                |                              | Doğrudan Uyumlu                                                   |
|---------|------------------------|-------------------------------------------------------------------|------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
|         |                        | Tam menzil                                                        | Kısa Menzil                  |                                                                   |
| Okuyucu | MF RC 500              |                                                                   |                              |                                                                   |
|         | EMC-Devre              | Aynı devre ve değerler                                            |                              |                                                                   |
|         | Alıcı Devre            | Aynı devre ve değerler                                            |                              |                                                                   |
|         | Empedans dönüşümü      | $T_{X1}$ ve $T_{X2}$ kullanılarak                                 | Sadece $T_{X1}$ kullanılarak | ---                                                               |
| Anten   | Kablo                  | 50 $\Omega$ koaksiyel                                             |                              | Kısa tel ya da doğrudan bağlantı                                  |
|         | Anten uyumlama devresi | Aynı devre, fakat anten boyutuna bağlı olarak farklı değerler     |                              | Aynı devre, fakat anten boyutuna bağlı olarak farklı değerler     |
|         | Anten bobini           | Çalışma mesafesi anten boyutlarına ve çevresel etkenlere bağlıdır |                              | Çalışma mesafesi anten boyutlarına ve çevresel etkenlere bağlıdır |
|         | Anten Koruma           | Koruma, çevresel etkenler ve uygulamaya bağlıdır.                 |                              |                                                                   |

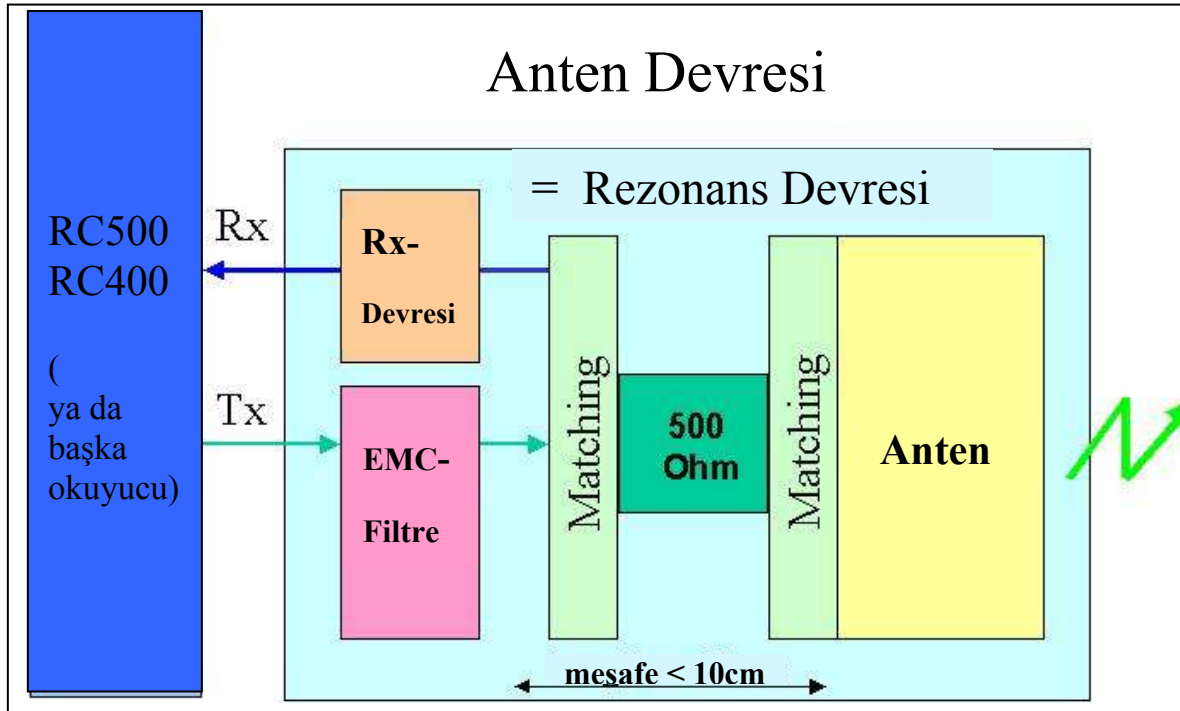


Şekil 16. Tasarım akış diyagramı [4]

## 1.8. Okuyucu Antenin Tasarlanması

### 1.8.1. Micore Anten İlkesi

Micore tek bir okuyucu IC ailesidir. Harici yükselteçler kullanmadan 100 mm ye kadar okuma mesafesi elde etmek için tasarlanmıştır. Tasarlama kuralları ve parametreler ISO14443, Mifare, ISO15693 ve I-Code için aynıdır. Aynı anten her bir haberleşme için de kullanılabilir. Her durumda da komple anten tasarımı anten bobini ve rezonans devresinin tasarımını, anten devresinin uygunlaştırılmasını, alıcı devresini ve EMC filtresini içerir (Şekil 17) [5].



Şekil 17. Komple direkt uyumlu anten devresinin blok şeması, 500 ohm [5].

Antenin doğru çalışmasını sağlamak için, bazı bloklar birkaç pasif elemandan oluşsa bile tüm blokların ve bunların işlevselliklerinin hesaba katılması gerekir [5].

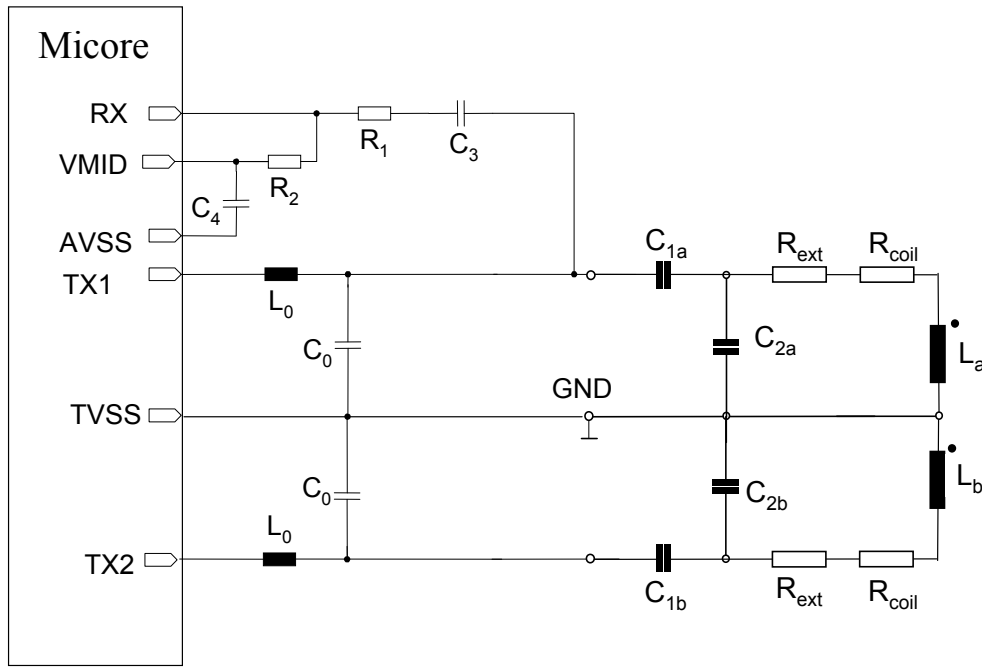
Tüm işlevsellikler üç fonksiyona ayrılır:

İletilen Güç: Işıtılan manyetik alan, veri sayfasında verilen limitler ve ışınlım göz önüne alınarak (özellikle 1 GHz'e kadar harmoniklerin ışınlım limitleri) maksimum yapılır [5].

İletilen Veri: Kodlanmış ve %10 veya %100 ASK modüle edilmiş veri sinyali, tüm kartların sinyali alabilmesini sağlayacak şekilde iletilir. Sinyalin biçimi ve zamanlaması (Q faktörü) dikkate alınır [5].

Alınan Veri: Veri sayfası limitleri dikkate alınarak kartın cevabı Micore'un alıcı girişine taşınır [5].

Esas olarak bu tüm anten devre şeması aşağıdaki şekil 18 görüldüğü gibi 8 kapasitör, 2 indüktör, 2 veya 4 direnç ve simetrik anten bobininden ( $L_a + L_b$ ) oluşmaktadır [5].



Şekil 18. Direkt uyumlu anten tüm devre şeması [5]

Tablo 7. Şekil 18'deki devreye ilişkin parametreler [5]

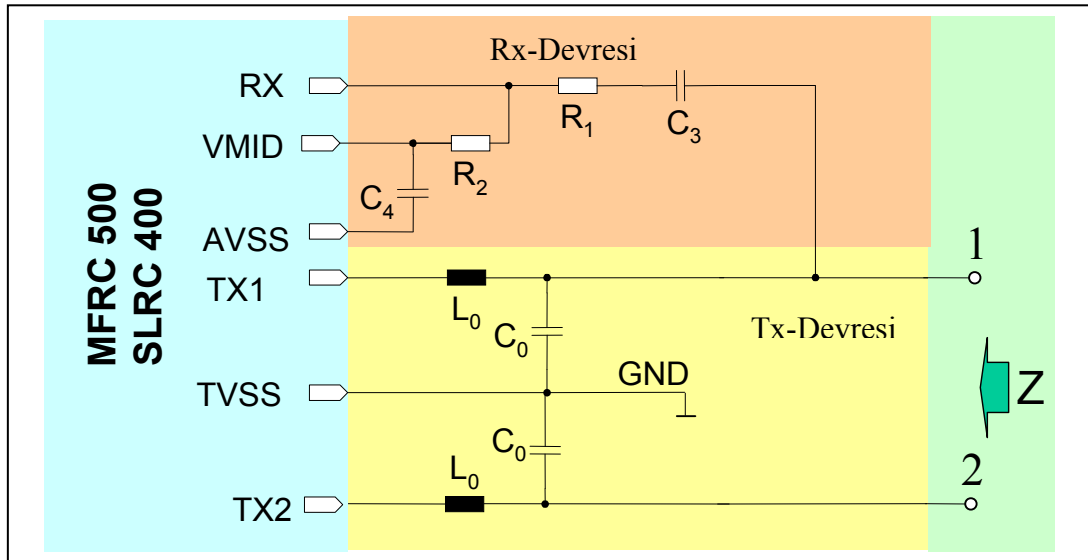
| Kısaltmalar                  | Açıklamalar                                                                                                                                                                          |
|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $L_a$ , $L_b$ and $R_{coil}$ | Anten bobin elemanları                                                                                                                                                               |
| $R_{ext}$                    | Kalite faktörünü ayarlamak için harici direnç. Güç tüketimi dikkate alınmalıdır.                                                                                                     |
| $C_0$ , $C_1 \dots C_3$      | Genelde ( $< \pm 2\%$ ) toleransa sahip 0402,0603 ya da 0805 SMD elemanlar. NPO gerekli. Gerilim limiti göz önüne alınmalıdır.                                                       |
| $C_4$                        | XR7 kapasitör.                                                                                                                                                                       |
| $L_0$                        | Tipik olarak genel uygulamalar için yüksek Q faktörlü küçük indüktans. Frekans sınırı ve izin verilen maksimum akım göz önüne alınmalıdır. Bu indüktans manyetik korumalı olmalıdır. |
| $R_1$ and $R_2$              | 0402, 0603 or 0805 küçük SMD elemanlar.                                                                                                                                              |

### 1.8.2. Temel Parametre Tasarımı

1.7.2.1’de verilen parametreler çerçevesinde komple Micore okuyucu anten tasarımı aşağıdaki adımlar takip ederek yapılır [5].

- 1) Bir bobin tasarlanır, L ve R ya da L ve Q değerleri ölçülür.
- 2) Bobin ile beraber rezonans devresi oluşturmak için rezonans kapasiteleri 1.7.2.3 ve 1.7.2.5’e göre hesaplanır.
- 3) Rezonans devresi, gerekli empedansa ulaşana kadar 1.7.2.6’ya göre hassas olarak ayarlanır.
- 4) Rezonans devresi EMC alçak geçiren filtre çıkışına bağlanır, performansı 1.7.2.7’ye göre kontrol edilir ve gerekirse yeniden ayarlanır.
- 5) Q faktörü 1.7.2.8’e göre kontrol edilir ve ayar yapılır.
- 6) Alıcı devresi 1.7.2.8.2’ye göre kontrol edilir ve ayar yapılır.

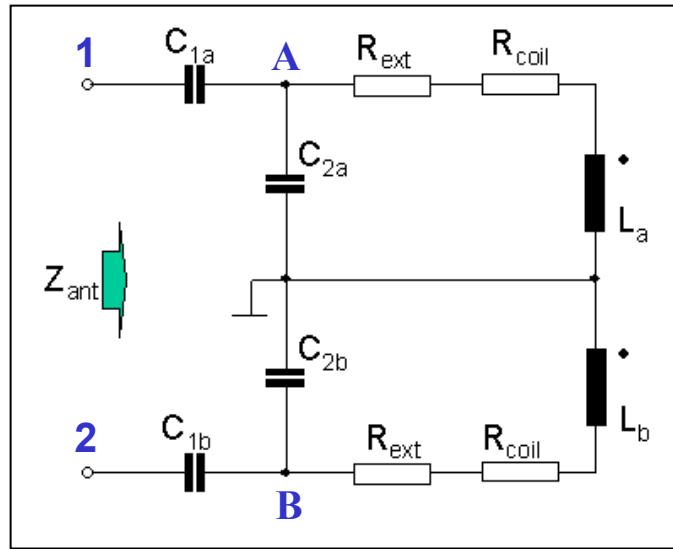
#### 1.8.2.1. Verilen Parametreler



Şekil 19. Temel parametre anten tasarımı için verilen değerler: EMC-filtre ve uygunlaştırma [5].

Temel parametre tasarımı için parametreleri azaltmak amacıyla Şekil 19’ daki değerler aşağıdaki gibi alınır.

$$\begin{aligned}
 L_0 &= 1\mu H & (\text{TDK NL322522T-1R0J}) \\
 C_0 &= 136pF = 2 \cdot 68pF & (\text{Seramik NP0, tolerans } \leq \pm 2\%) \\
 C_3 &= 15pF & (\text{Seramik NP0, tolerans } \leq \pm 10\%) \\
 C_4 &= 100nF & (\text{Seramik X7R, tolerans } \leq \pm 10\%) \\
 R_1 &= 470\Omega \dots 2.7k\Omega \\
 R_2 &= 820\Omega \\
 Z_{ant} &= Z = 500\Omega = (500 + j0)\Omega = 500\Omega \cdot e^{j0^\circ}
 \end{aligned}$$



Şekil 20. Anten devre şeması [5].

Komple direkt uyumlu anten Şekil 20’de gösterilen bölümlerden oluşmaktadır.

|                                  |                              |
|----------------------------------|------------------------------|
| $L_a, L_b$                       | : anten bobini               |
| $R_{coil}$                       | : anten bobininin iç direnci |
| $R_{ext}$                        | : harici direnç              |
| $C_{1a}, C_{1b}, C_{2a}, C_{2b}$ | : kapasitörler               |

### 1.8.2.2. Anten Bobini

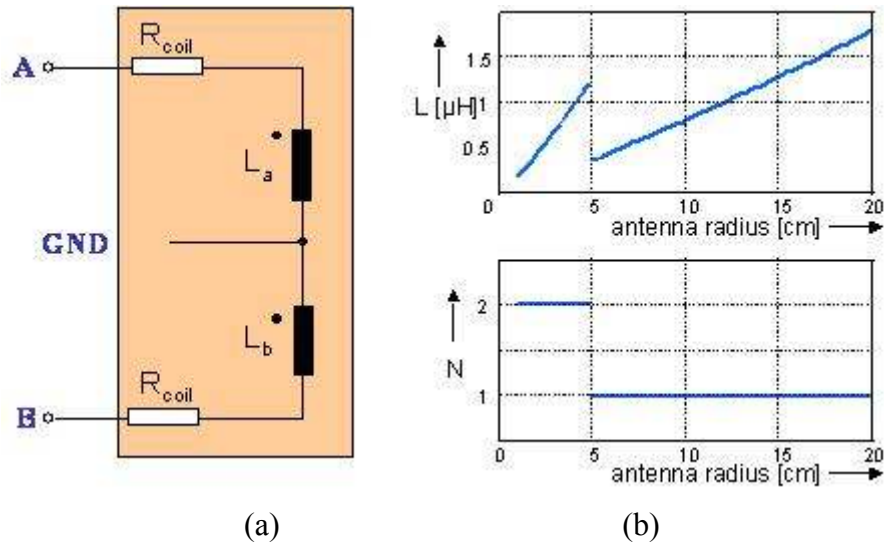
İlk olarak genel kurallar ve mekanik gereksinimler çerçevesinde gerekli anten bobini tasarlanır. A ve B noktası arasında indüktans

$$L = L_a + L_b \quad (1.9)$$

ve seri dirençler

$$R_L = 2 \cdot R_{coil} \quad (1.10)$$

ölçülür. Bu ölçümler empedans analizör ya da LCR metre ile 13,56 MHz frekansta yapılır.



Şekil 21. (a) Anten bobin devre şeması, (b) yarıçap ile anten sarım sayısı arasındaki ilişki.

Anten yarıçapına bağlı olarak her bir  $L_a$  ve  $L_b$  bobini için ya tek tur bir bobin ( $r \geq 5$  cm) ya da çift tur bir bobin ( $r < 5$  cm) kullanılmalıdır. Anten bobinleri simetrik olmalıdır. Bobinin merkezi elektriksel noktası toprak noktasına bağlanır. Anten bobini için tam tur sayısının kullanılması önerilmektedir.

Verilen tasarım kurallarına göre Şekil 21’de gösterilen anten bobinin indüktansı ve iç direnci genelde

$$L = L_a + L_b = 300nH...2\mu H \quad (1.11)$$

$$R_L = 2 \cdot R_{coil} = 0.5\Omega...5\Omega \quad (1.12)$$

arasındadır [5].

### 1.8.2.3. Simetriden Dolayı Basitleştirme

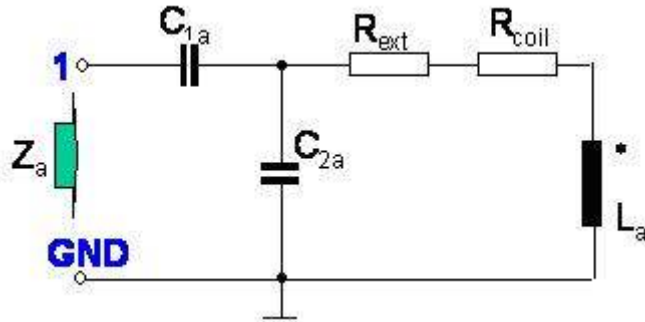
Tüm antenin bobinlerinin simetrisinden dolayı,

$$L_a = L_b \quad (1.13)$$

$$Z_a = Z_b = \frac{Z_{ant}}{2} \quad (1.14)$$

değerlerini alır.

Simetriden dolayı tüm devre basitleştirilebilir. Aşağıdaki şekilde uyumlama devresini ve harici dirençleri hesaplamak için tüm anten devresinin sadece bir simetrik yarısının kullanılması yeterlidir.



Şekil 22. Simetrik antenin bir yarısı

Bu basitleştirme teorik olarak yapılabilir, pratik ölçümler basitleştirme yöntemiyle ölçülemez. Bunun nedeni  $L_a$  ve  $L_b$  arasındaki kupaajdır. Bundan dolayı bütün empedans ölçümleri komple anten devresi ile yapılmalıdır [5].

#### 1.8.2.4. Harici Dirençler

Bobinin Q-faktörünün genel tanımı ile birlikte

$$Q = \frac{\omega L}{R_L} \quad (1.15)$$

ya da

$$R_L = \frac{\omega L}{Q} \quad (1.16)$$

toplam direnç (toplam Q'yü belirleyen)

$$R = 2 \cdot R_{ext} + R_L = 2 \cdot R_{ext} + 2 \cdot R_{coil} \quad (1.17)$$

ve  $Q = 35$  için gerekli olan  $R_{ext}$  harici direnç aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$R_{ext} = \frac{1}{2} \cdot (R_L - R) = \frac{\omega L}{2 \cdot Q} - R_{coil} \quad (1.18)$$

$$\omega = 2\pi \cdot 13,56 \text{ MHz} \quad (1.19)$$

Q-faktörünü etkileyen diğer elemanları ihmal edilirse, bu hesap  $R_{ext}$ 'in yaklaşık değerini verir. Bu değer uyumlama kapasitörlerini hesaplamak için kullanılır. Q-faktörü kontrol edilip gerektiğinde ayarlanarak, kesin harici dirençler bulunur [5].

#### 1.8.2.5. Paralel ve Seri Kapasitörler

Bobinin  $L_a$ ,  $R$  (harici direnç dahil) ve gerekli  $Z_{ant}$  empedansı ile  $C_2$  paralel kapasitör ile  $C_1$  seri kapasitör aşağıdaki şekilde hesaplanır.

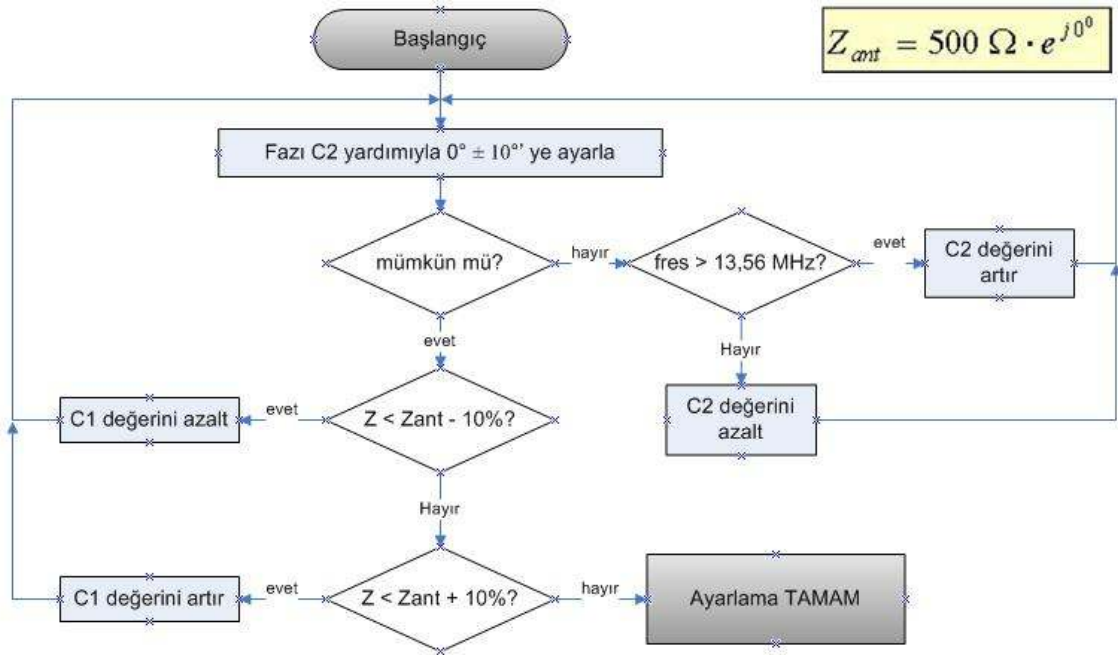
$$C_{2a} = C_{2b} = \frac{1}{\omega \cdot \sqrt{\left( \frac{\omega L}{1 - R/Z_a} \right)^2 - \frac{R^2 + \omega^2 L^2}{1 - R/Z_a} + \frac{\omega L}{1 - R/Z_a}}} \quad (1.20)$$

$$C_{1a} = C_{1b} = \frac{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C_2}\right)^2}{\frac{\omega L}{C_2} \left(\frac{1}{\omega C_2} - \omega L\right) - \frac{R^2}{C_2}} \quad (1.21)$$

$$Z_a = 250\Omega \quad (1.22)$$

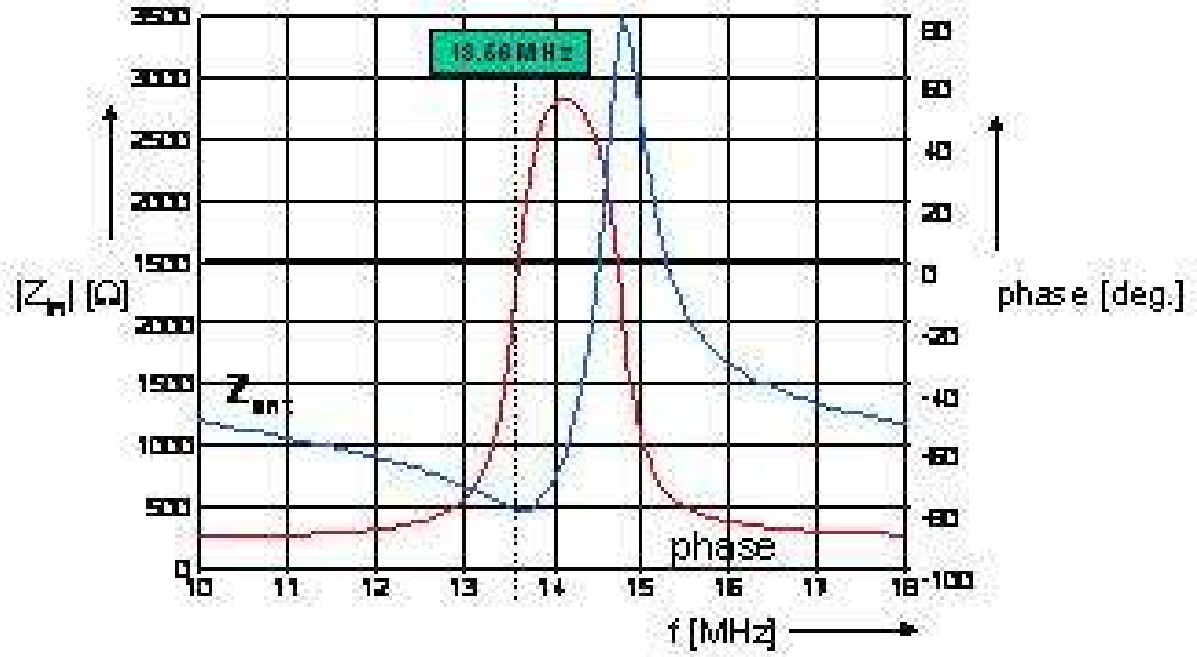
Tahmini harici direnç gerekli olan gerçek dirençten farklı olsa da hesaplanan kapasitörler ayarlama işlemi için başlangıç değerleri olarak alınır [5].

#### 1.8.2.6. Ayarlama İşlemi



Şekil 23. Anten devresinin ayar işlemi [5]

Verilen ve hesaplanan  $L$ ,  $R_{ext}$ ,  $C_{1a}$ ,  $C_{1b}$ ,  $C_{2a}$  ve  $C_{2b}$  değerleri ile komple anten devresi ayarlanır. Anten devresi, empedans analizörü ya da bir Osiloskop ve bir sinyal jeneratörü kullanarak ayarlanabilir [5].

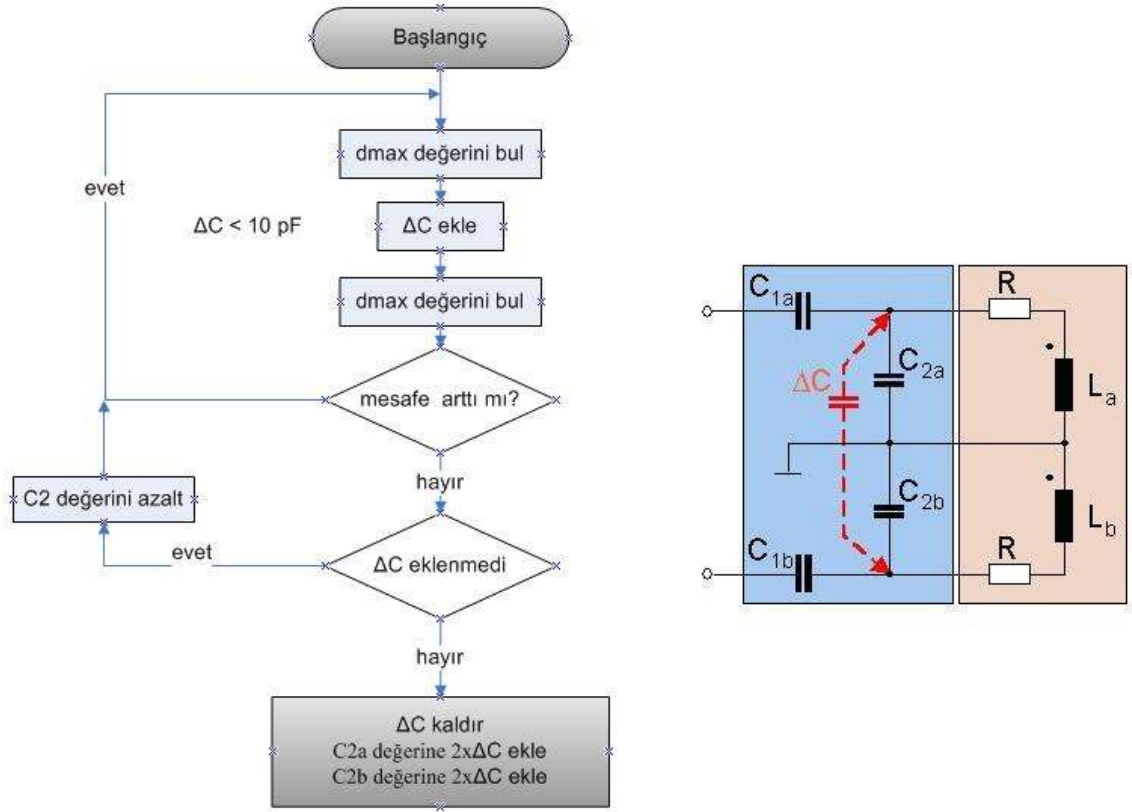


Şekil 24. Direkt uyumlu antenin tipik empedans grafiği [5]

#### 1.8.2.7. Hassas Ayar

Genel ayarlama işleminden sonra komple anten devresi Micore devesinin EMC-filtre çıkışına bağlanabilir.

Hassas ayar işlemi maksimum okuma mesafesini elde etmek için komple anteni ayarlar.



Şekil 25. Hassas-ayar işlemi

#### 1.8.2.8. Çıkış Akımı ve Q-Faktörünün Kontrol Edilmesi

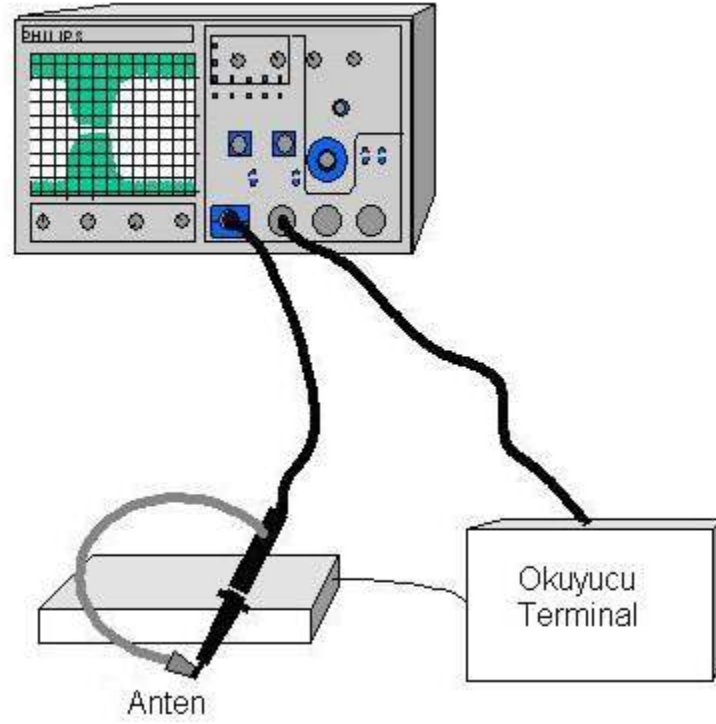
Q-faktörü, modülasyon şeklinin köşelerine etkisi olduğundan antenin kontrol edilmesinde kullanılır. Bu işlem için en az 50 MHz bant genişliğine sahip bir Osiloskop kullanılmalıdır. Osiloskopun iki probu Şekil 26’daki gibi bağlanır.

CH1: Toprak kablosu indüktif sinyalin kuplajı için bir halka oluşturacak şekilde şekillendirilir.

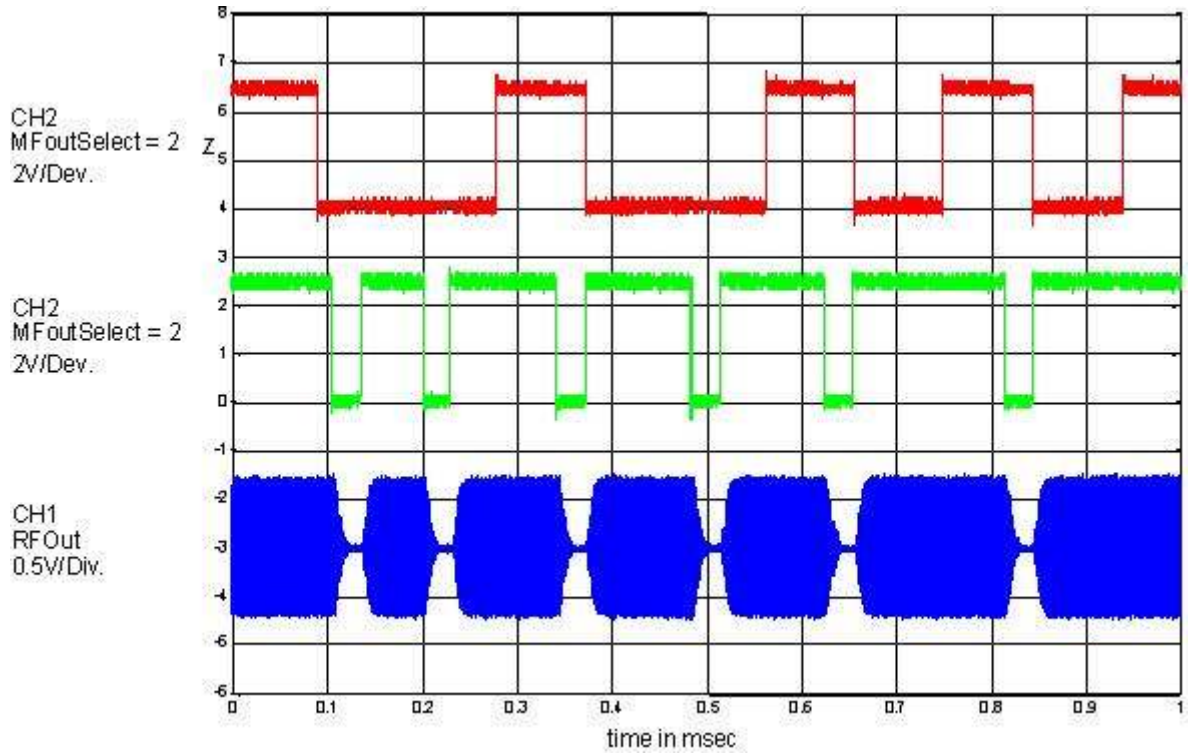
CH2: Probu Micore’un MFout sinyali olan pin 4’ e bağlanır, tetik kaynağı CH2 olarak seçilir.

MFoutSelect kütüğü (0x26) “2” yada “3” değerine ayarlanır [9].

Test sinyallerin bir örneği Şekil 27’de gösterilmiştir [5].

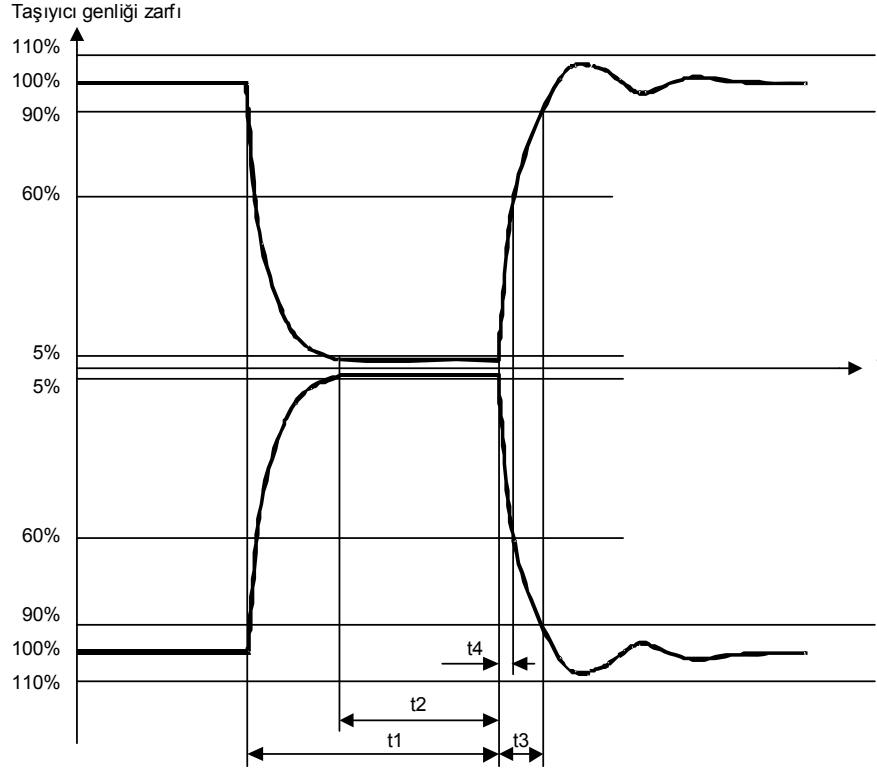


Şekil 26. Q-faktörünü kontrol etmek için ayar düzeneği [5]



Şekil 27. Micore antenin test sinyalleri [5]

### 1.8.2.8.1. ISO14443A'ya Göre Darbe Şekli



Şekil 28. ISO14443A'ya göre darbe şekli [5]

Tablo 8. ISO14443A'ya Göre Darbe Süreleri [5]

| Darbe uzunluğu | t1 [ $\mu$ s] | t2 [ $\mu$ s] | t3 [ $\mu$ s] | t4 [ $\mu$ s] |
|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| <b>T1 MAX</b>  | 3.0           | 1.4           | 1.0           | 0.4           |
| <b>T1 MIN</b>  | 2.0           | 0.7           | 1.0           | 0.4           |

t1-t2 süresi aralığı ifade eder, bu aralıkta sinyalin genliği %90'dan %5'e düşer. Micore'un darbe uzunluğunun yeteri kadar doğru olduğunu anlamak için sadece t2 süresi kontrol edilir. t2 süresi sinyalin %5'inin altında kaldığı süredir.

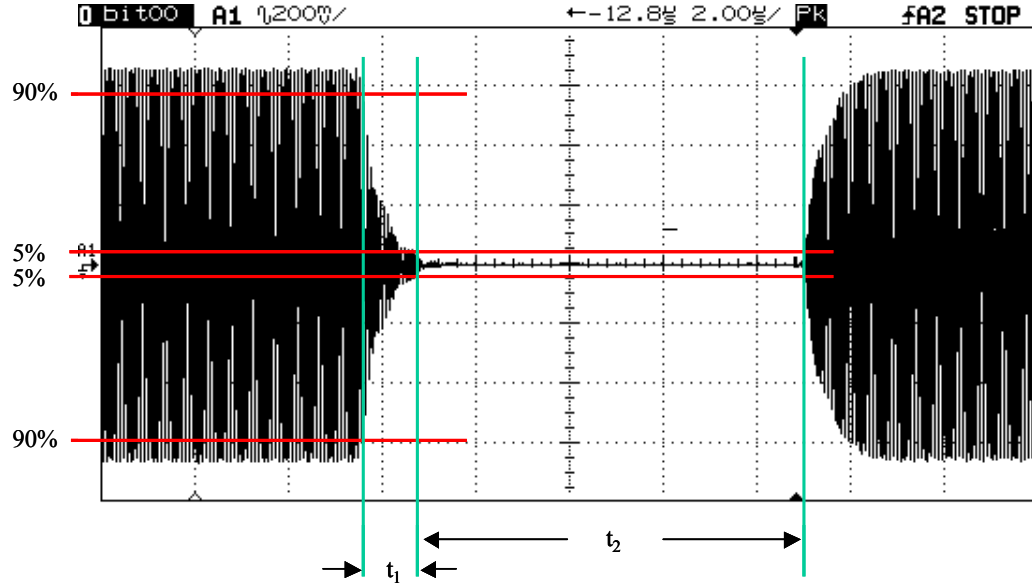
Doğru anten ayarı ve Q-faktörünü sağlamak için aşağıdakiler kontrol yapılır:

- 1) Sinyal %5 değerinin altına düşmelidir.
- 2) t2 süresi :  $0.7\mu s < t2 < 1.4\mu s$  arasında olmalıdır.

Eğer  $t2 < 0.7\mu s$  ise, Q-faktörü çok büyüktür ( $Q > 35$ ). Bu durumda  $R_{ext}$  azaltılır.

Eğer  $t2 > 1.4\mu s$  ise, Q-faktörü çok düşüktür ve okuma mesafesi yetersiz olacaktır. Bu durumda  $R_{ext}$  artırılır [5].

### 1.8.2.8.2. SL RC400 Tasarımı İçin Darbe Şekli



Şekil 29. SL RC400 için darbe şekli [5]

Şekil 29’da gösterildiği gibi Q-faktörünü kontrol etmek için I-Code darbe %100 ASK’ya ayarlanır.  $t_1$  süresi aralığı ifade eder, bu aralıkta sinyalin genliği %90’dan %5’e düşer. Micore’un darbe uzunluğunun yeteri kadar doğru olduğunu anlamak için sadece  $t_2$  süresi kontrol edilir.  $t_2$  süresi sinyalin %5’inin altında kaldığı süredir [5].

Tablo 9. SL RC400’e göre darbe süreleri [5]

| Darbe uzunluğu | $t_2$ [ $\mu$ s] |
|----------------|------------------|
| T MAX          | 8.7              |
| T MIN          | 7.2              |

Doğru anten ayarı ve istenen Q-faktörünün sağlanması için aşağıdaki kontroller yapılır.

- 1) Sinyal %5 değerinin altına düşmelidir.
- 2)  $t_2$  süresi :  $7.2\mu s < t_2 < 8.7\mu s$  arasında olmalıdır.

Eğer  $t_2 < 7.2\mu s$  ise, Q-faktörü çok büyüktür ( $Q > 35$ ). Bu durumda  $R_{ext}$  azaltılır.

Eğer  $t_2 > 8.7\mu s$  ise, Q-faktörü çok düşüktür ve okuma mesafesi yetersiz olacaktır. Bu durumda  $R_{ext}$  artırılır [5].

### 1.8.2.9. Alıcı Devresi

Verici tasarlama adımları tamamlandığında, verici mümkün olan en büyük manyetik alanı yayar ve TX-verisini gönderir. Bundan sonra alıcı devresi bağlanmalı ve ayar yapılmalıdır. 1.7.2.1’de verilen değerlere göre anten devresi monte edilmelidir.

$$C_3 = 15 \text{ pF} \quad (\text{Seramik NP0, tolerans } \leq \pm 10\%)$$

$$C_4 = 100 \text{ nF} \quad (\text{Seramik X7R, tolerans } \leq \pm 10\%)$$

$$R_1 = 470\Omega \dots 2.7k\Omega$$

$$R_2 = 820\Omega$$

Micore’un Rx giriş pini yüksek empedanstır, böylece Micore’un wx-girişine bir gerilim geri kuple olur.

Burada iki kurala uyulması gerekir:

- 1) Rx giriş pinindeki DC-gerilim seviyesi  $V_{mid}$ ’de tutulmalıdır,
- 2) Rx pinindeki AC-gerilim ( $1.5 \text{ Vpp} < V_{Rx} < 3 \text{ Vpp}$ ) limitleri dahilinde tutulmalıdır.

Eğer  $V_{Rx} > 3 \text{ Vpp}$  ise  $R_1$  direnci artırılır.

Eğer  $V_{Rx} < 1.5 \text{ Vpp}$  ise  $R_1$  direnci azaltılır.

Rx giriş gerilimi alan içindeki bir kartın minimum ve maksimum mesafesi ile kontrol edilmelidir [5].

## **2. YAPILAN ÇALIŞMALAR**

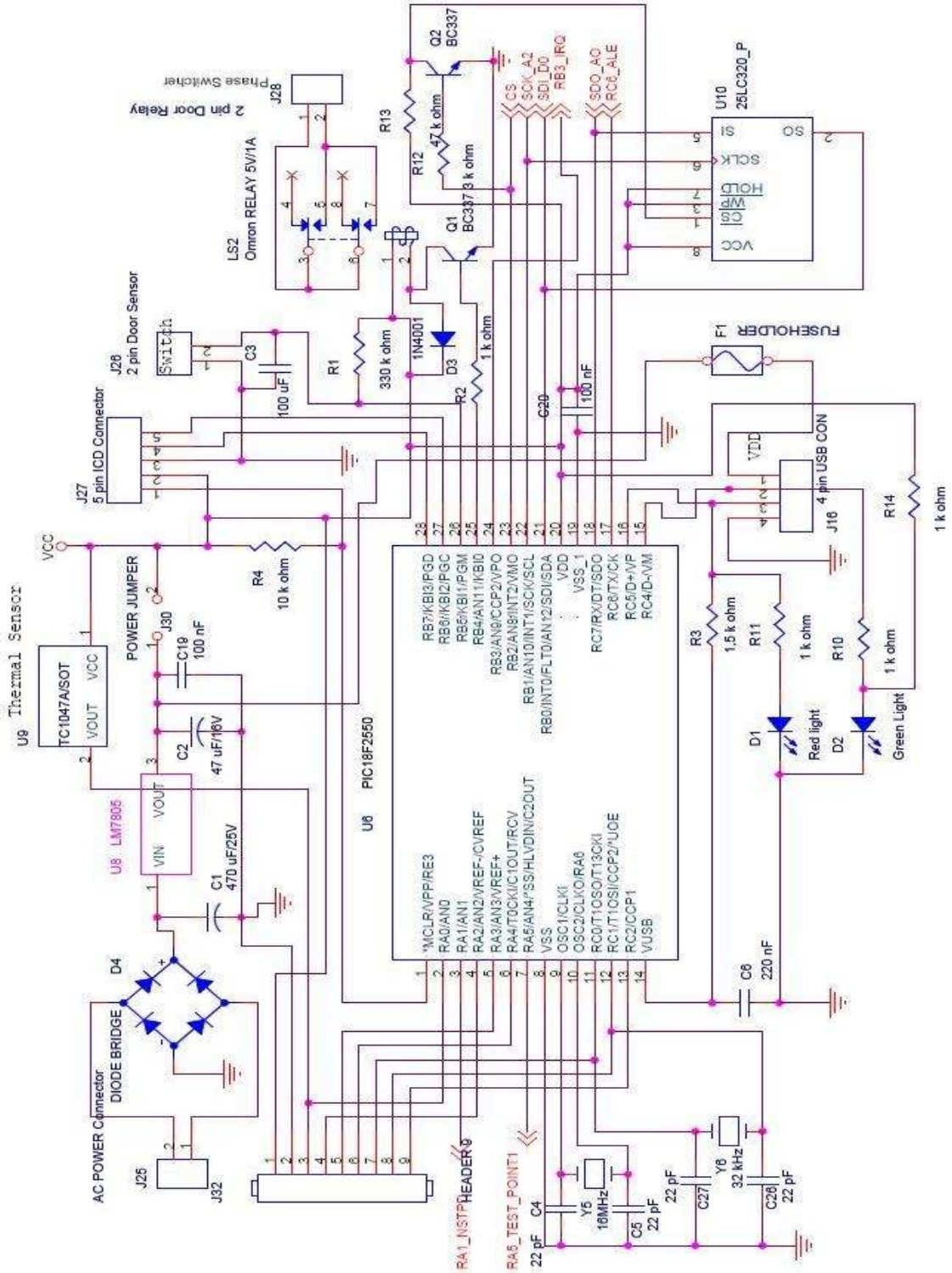
### **2.1. Giriş**

Bu bölümde Mifare teknolojisi kullanılarak tasarlanan okuyucu ile bu okuyucunun başarımını artırmak için eklenen geri besleme incelenmiştir.

### **2.2. USB Mifare Okuyucu**

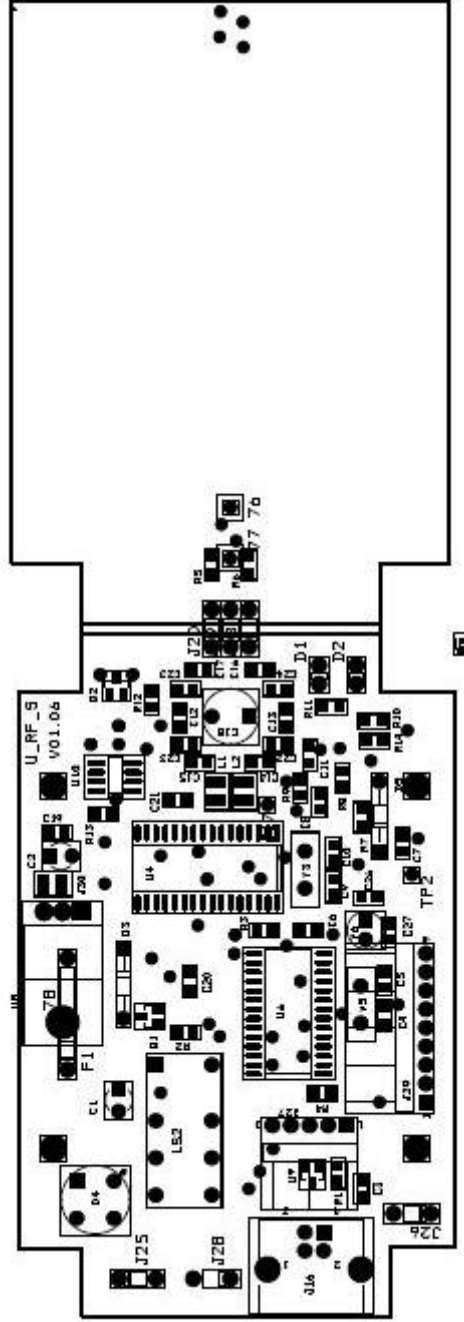
#### **2.2.1. Tasarlanan Okuyucunun Devre Şeması ve Yazılım Ekranı**

Şekil 33' de işlemci ve dış bağlantı katı ve Şekil 34' de Mifare işlemci katı gösterilmektedir.



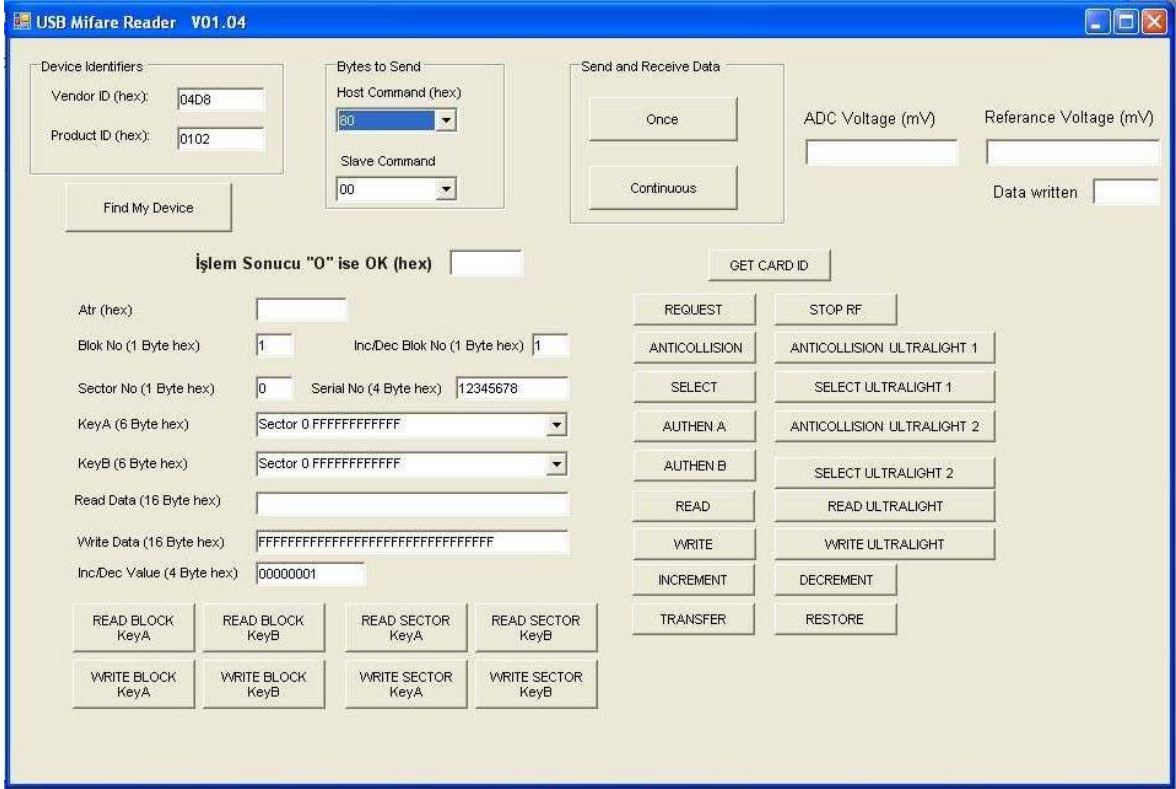
Şekil 33. İşlemci ve dış bağlantı katı

Şekil 33 ve şekil 34’ de Mifare okuyucu devreleri tasarlanarak şekil 35’ deki PCB devre yapılmıştır.



Şekil 35. Komple PCB devre

Mifare okuyucu üretildikten sonra bilgisayar ile USB üzerinden haberleşmek ve işlemleri bilgisayar ile yapabilmek için şekil 36’ da gösterilen yazılım yazılmıştır.



Şekil 36. Bilgisayar yazılım ekranı

Bu yazılım ile Mifare işlemcinin tüm komutları bilgisayardan çalıştırılmaktadır. Belirlenen referans gerilimi ve geri besleme devresindeki gerilim program ekranından okunmaktadır.

### 2.2.2. Okuyucu Antenin Tasarlanması

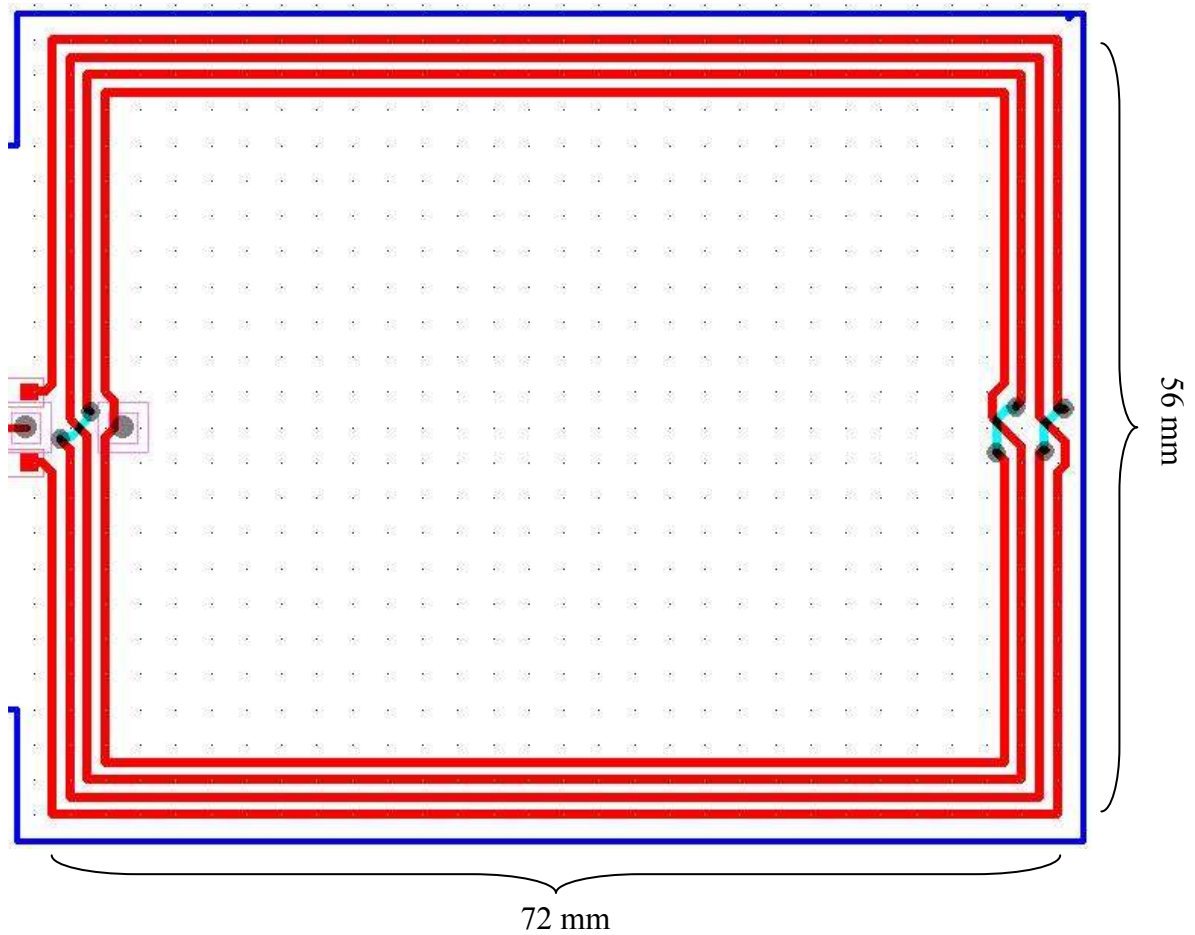
Bu bölümde Bölüm 1.8.'de verilen anten tasarımı adımlarının uygulaması yapılmıştır.

1.8.1.'deki adımlar uygulanarak;

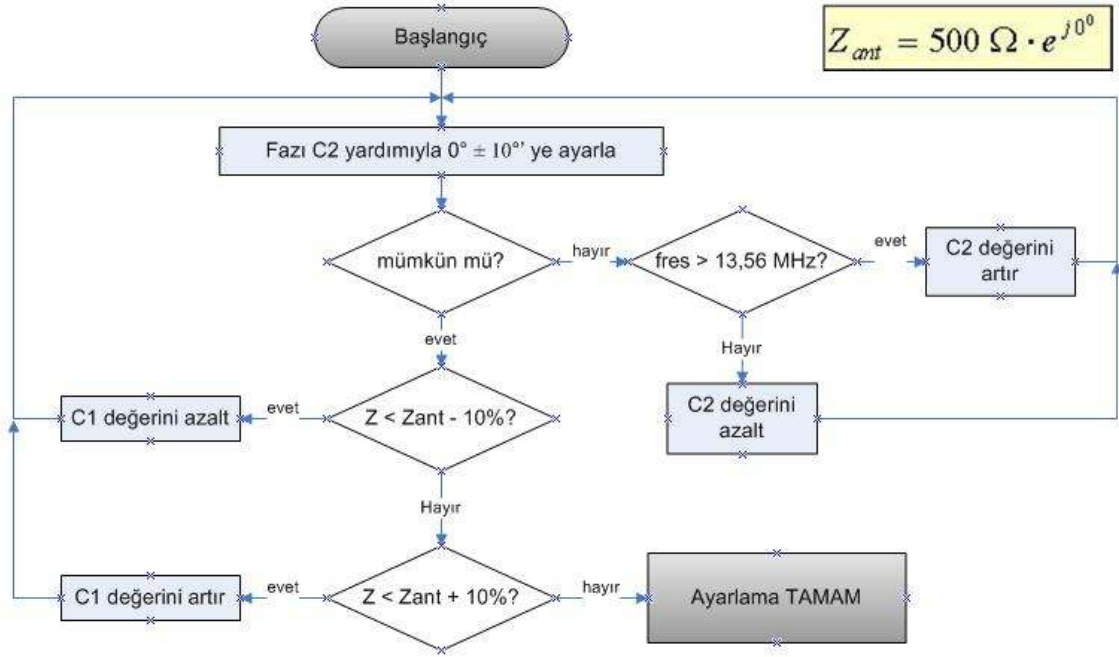
- 1) Şekil 37'deki gibi bobin tasarlanmıştır. Yol kalınlığı 0,707 mm ve yollar arası mesafe 0,563 mm'dir.
- 2) Bobin ile beraber rezonans devresi oluşturmak için rezonans kapasiteleri 1.8.2.3 ve 1.8.2.5'e göre hesaplanır.
- 3) Rezonans devresini gerekli empedansa ulaşana kadar ayarlanır.
- 4) Rezonans devresi EMC alçak geçiren filtre çıkışına bağlanır, performans kontrol edilir ve ayarlama yapılır.

- 5) Q faktörü kontrol edilerek ayar yapılır.
- 6) Alıcı devresi kontrol edilerek ayar yapılır.
- 7) 1.8.2.4'e göre harici direnç değerleri hesaplanır.
- 8) 1.8.2.5'e göre paralel ve seri kapasitörler hesaplanır.
- 9) 1.8.2.6'ya göre ayarlama işlemi Şekil 38'e göre yapılır.
- 10) 1.8.2.6'ya göre hassas ayar Şekil 39'a göre yapılır.
- 11) 1.8.2.6'ya göre çıkış akımı ve Q-faktörü kontrol edilir (Şekil 26).
- 12) 1.8.2.6'ya göre alıcı devresi aşağıdaki şekilde ayarlanır.

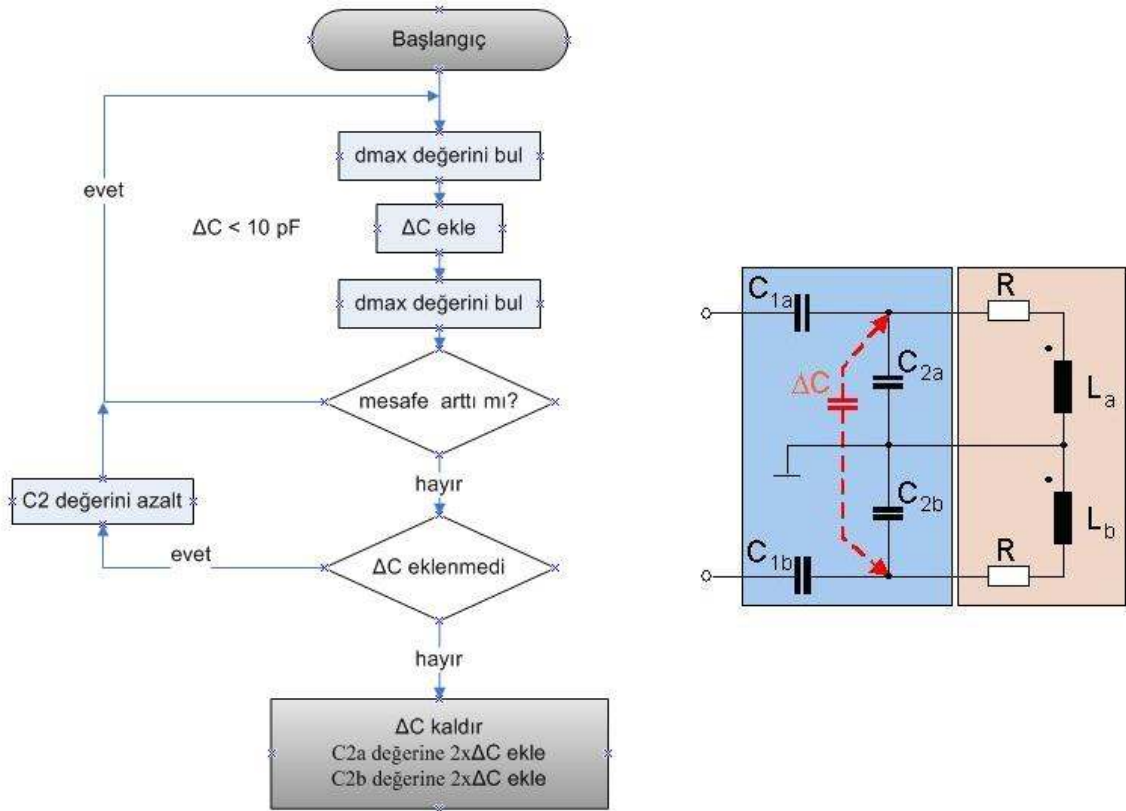
$R_1$ 'in başlangıç değeri  $2,7k\Omega$  olarak alınır. Okuyucu okuma alanı içinde ve etiket ile haberleşme sağlanırken; etiket en uzak noktada iken  $V_{Rx} < 3 V_{pp}$  olmalıdır. Etiket en yakın noktada iken  $1.5 V_{pp} < V_{Rx}$  şartını sağlamalıdır [5].



Şekil 37. Tasarlanan okuyucu antenin PCB devresi



Şekil 38. Anten devresinin ayar işlemi [5]

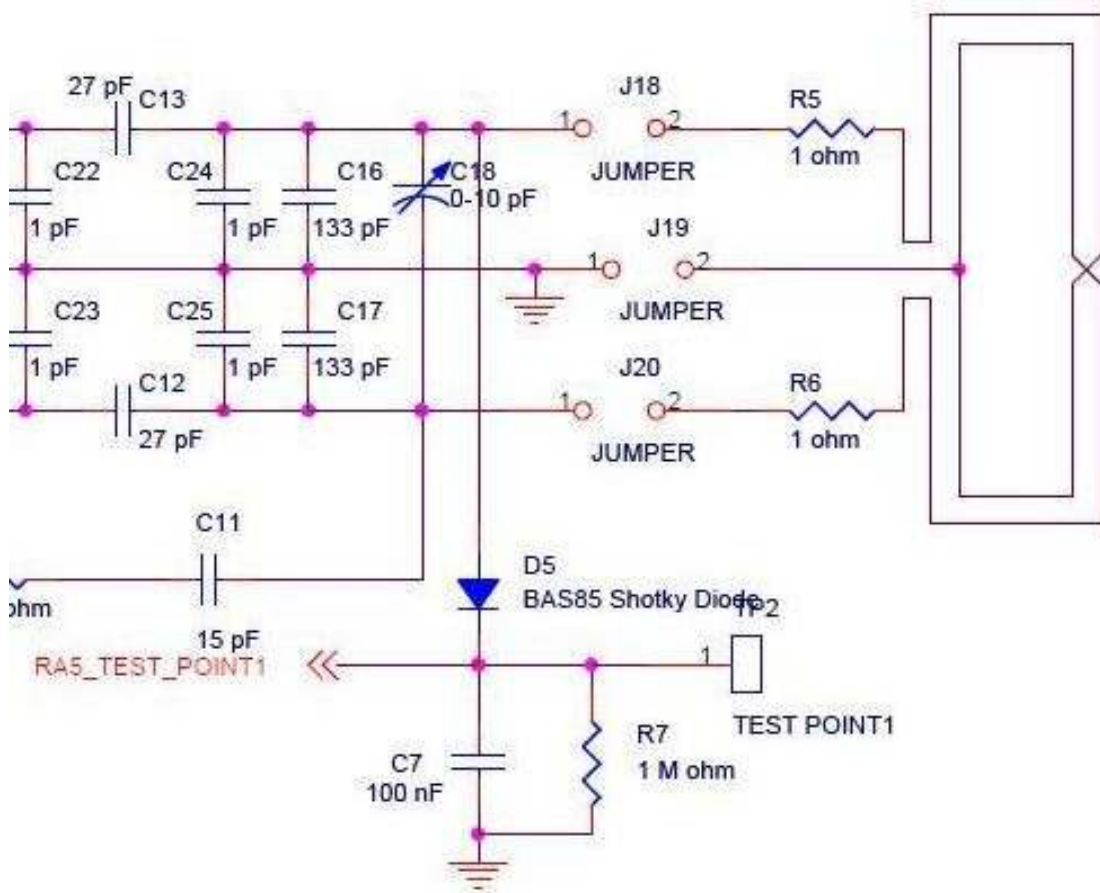


Şekil 39. Hassas-ayar işlemi [5]

### 2.3. Okuyucunun Performansını Artırmak İçin Geri Besleme Devresi Ekleme

#### 2.3.1. Devre Üzerindeki Bir Noktadan Geri Besleme Devresi Oluşturmak

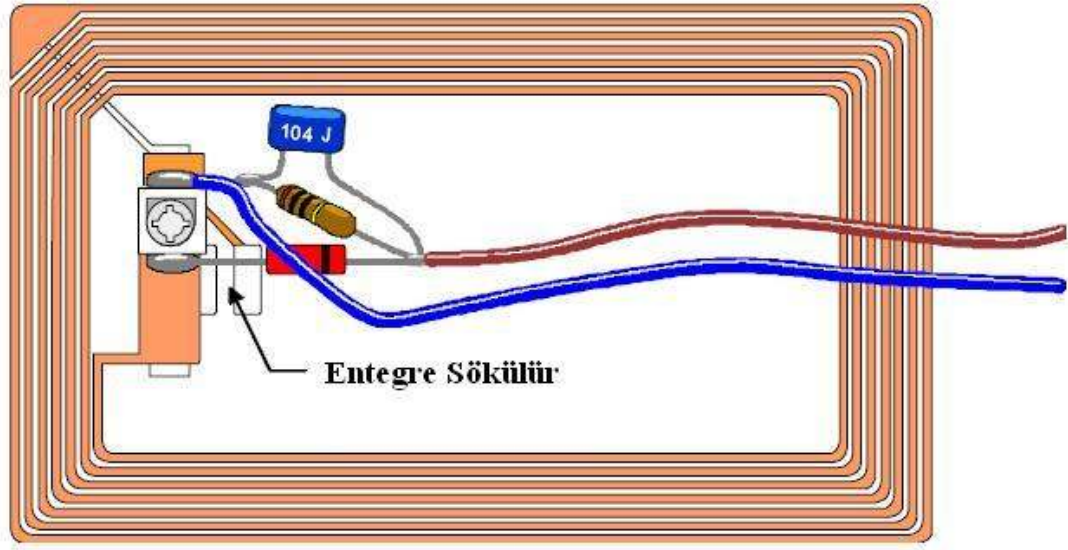
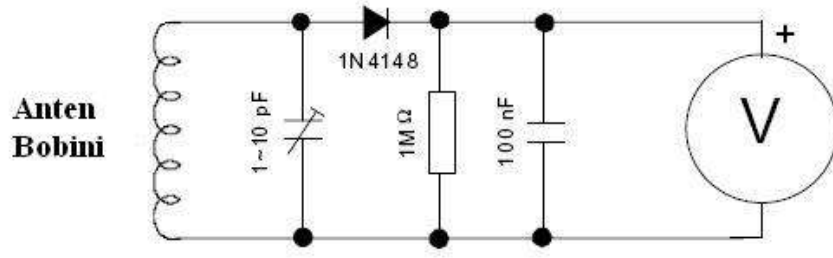
Geri beslemeyi devrenin alıcıya bağlı olmayan ucundan bir bağlantı yapılarak geri besleme devresine sinyal alınmıştır. Bu sinyalin okuma mesafe içindeki kartın hareketinden dolayı değişim olup olmadığı gözlemlenmiştir.



Şekil 40. Okuyucu anteni, geri besleme bağlantısı ve geri besleme devre şeması

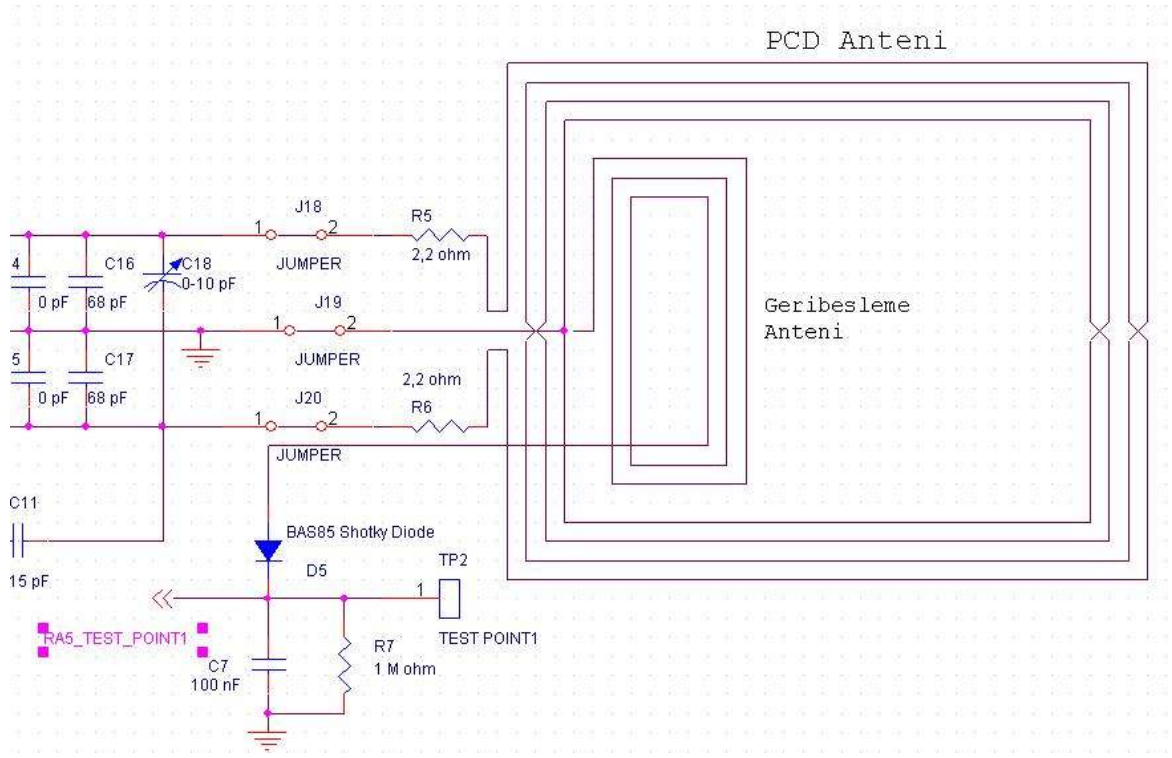
#### 2.3.2. Bobin Ekleyerek Geri Besleme Devresi Oluşturmak

Okuyucunun okuma mesafesi içinde etiket bobininde oluşan gerilimi görmek için Şekil 41' deki bağlantı kullanılmıştır.

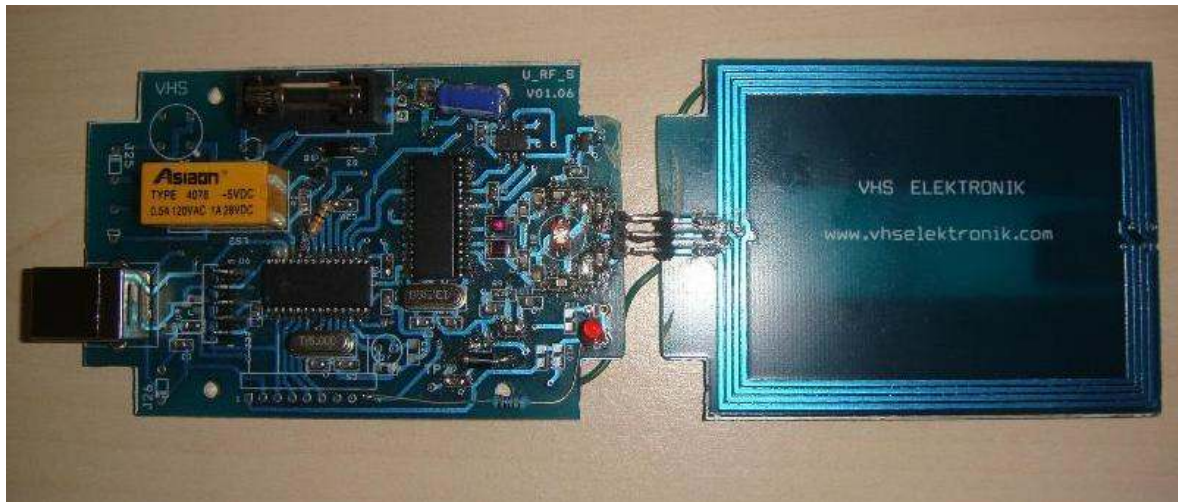


Şekil 41. Etiketle oluşan gerilimi okumak için örnek devre [10].

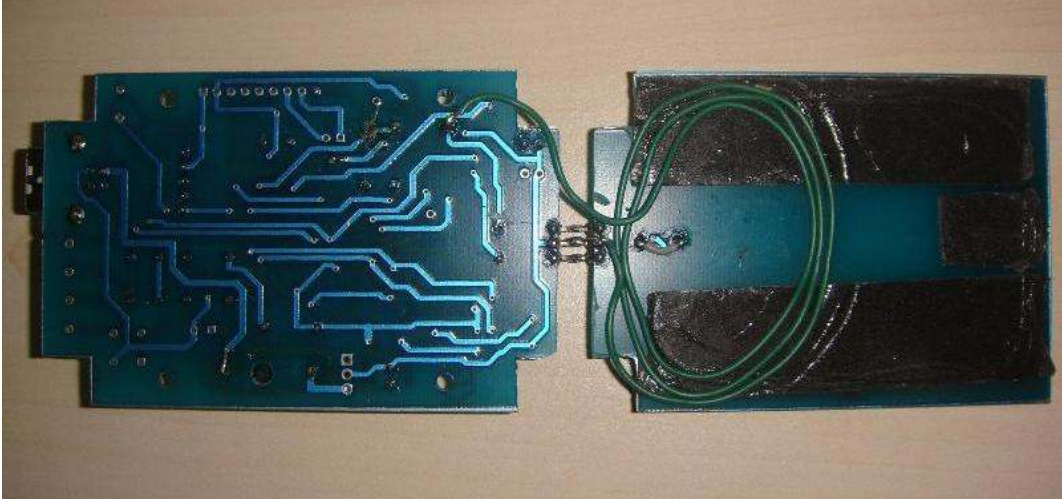
Yukarıdaki örneği dikkate alınarak okuyucunun oluşturduğu manyetik alanı geri besleme olarak alabilmek için ikinci bir anten bobini eklenir. Bu anten bobininde indüklenen gerilimi değerlendirebilmek için DC gerilime dönüştürülür ve Microchip PIC18F2550 işlemcisinin ADC girişine yönlendirilir.



Şekil 42. Okuyucu anteni, geri besleme anteni ve geri besleme devre şeması



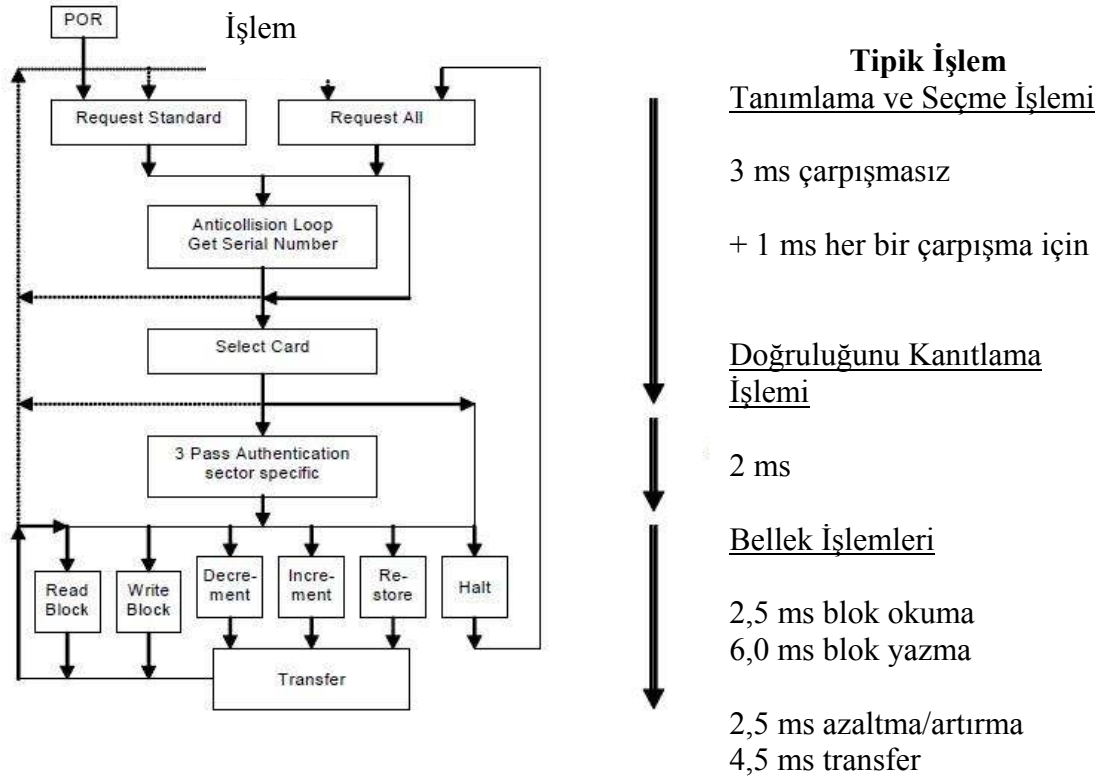
Şekil 43. Okuyucu antenin ve komple devrenin fotoğrafı



Şekil 44. Geri besleme anteninin fotoğrafı

### 2.3.3. Okuyucunun Etiketi Algılama Süresini Kısaltmak ve Akım Tüketimini Azaltmak

Şekil 45’de görüldüğü gibi, okuyucu etiketi algılamak için ya ‘Request Standard’ ya da ‘Request All’ komutu göndermeli ve cevap beklemelidir [6].

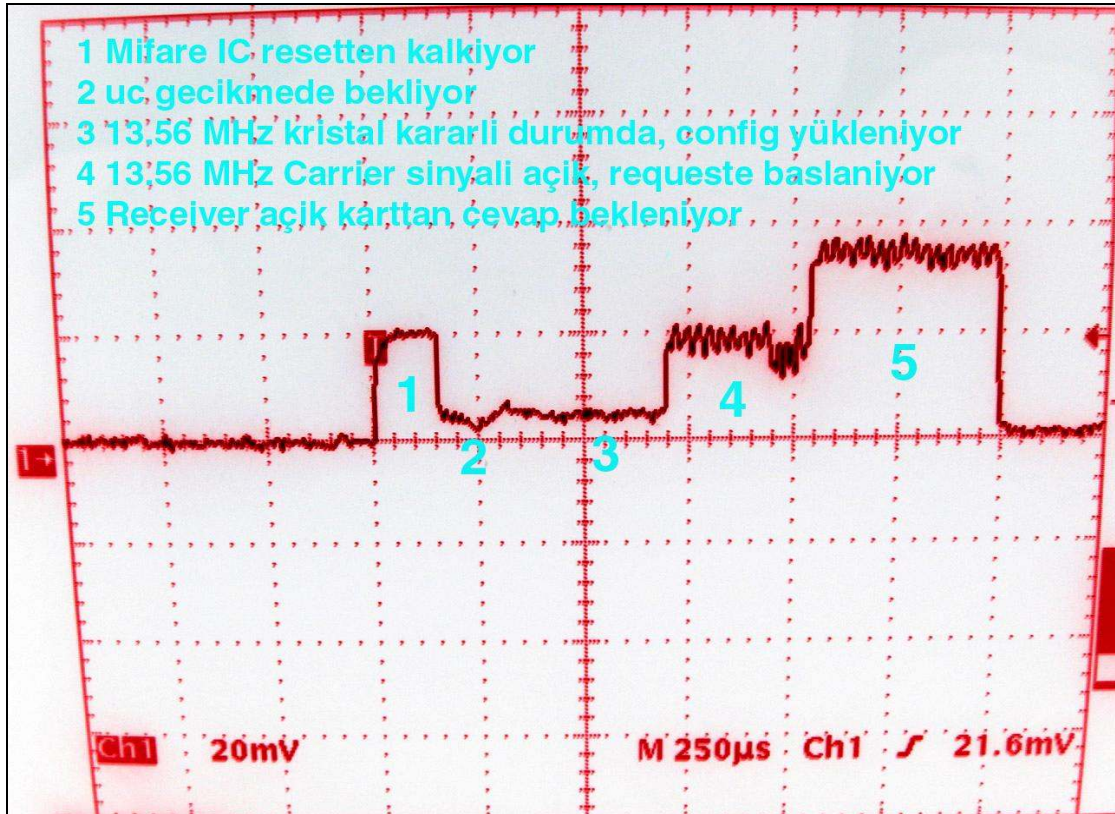


Şekil 45. Okuyucunun etiket ile haberleşme yapısı ve komutları [6]

Şekil 46’da okuyucu ile etiket arasındaki ‘Request Standard’ komutu sırasında devreden çekilen akım ve süresi görülmektedir. Buna göre okuyucunun etiketi algılayabilmesi için en az 1,62 msn’ lik bir süreye ihtiyaç vardır. Bu sürenin yaklaşık yarısını RF entegresini çalışır duruma getirmek ve etiketin enerjilenmesini beklemek ile geçecektir. Toplam sürenin diğer yarısı komutu göndermek ve cevap beklemek ile geçmektedir.

Normalde bu süre çok kısa gibi görülmesine rağmen, pilli uygulamalarda bu süre ve bu süredeki akım tüketimi pil tüketiminin yarısına yakınına oluşturmaktadır. Bunu nedeni cihazın etiketin okuma mesafesine girip girmediğini sürekli kontrol etmesi gerekmesindendir. Etiketlin okuma mesafesine girip girmediğini başka yöntemlerle de kontrol etmek mümkündür. Fakat bu durumda da cihaza ilave devre eklemek gerekmektedir. Örneğin, etiketin dışına mıknatıslı bir kılıf geçirilebilir ve bu mıknatısın cihazın üzerindeki bir elemanı uyarması sağlanabilir. Genelde cihazlarda bu kontrol süresi 0,5-4 sn aralıklarla yapılır.

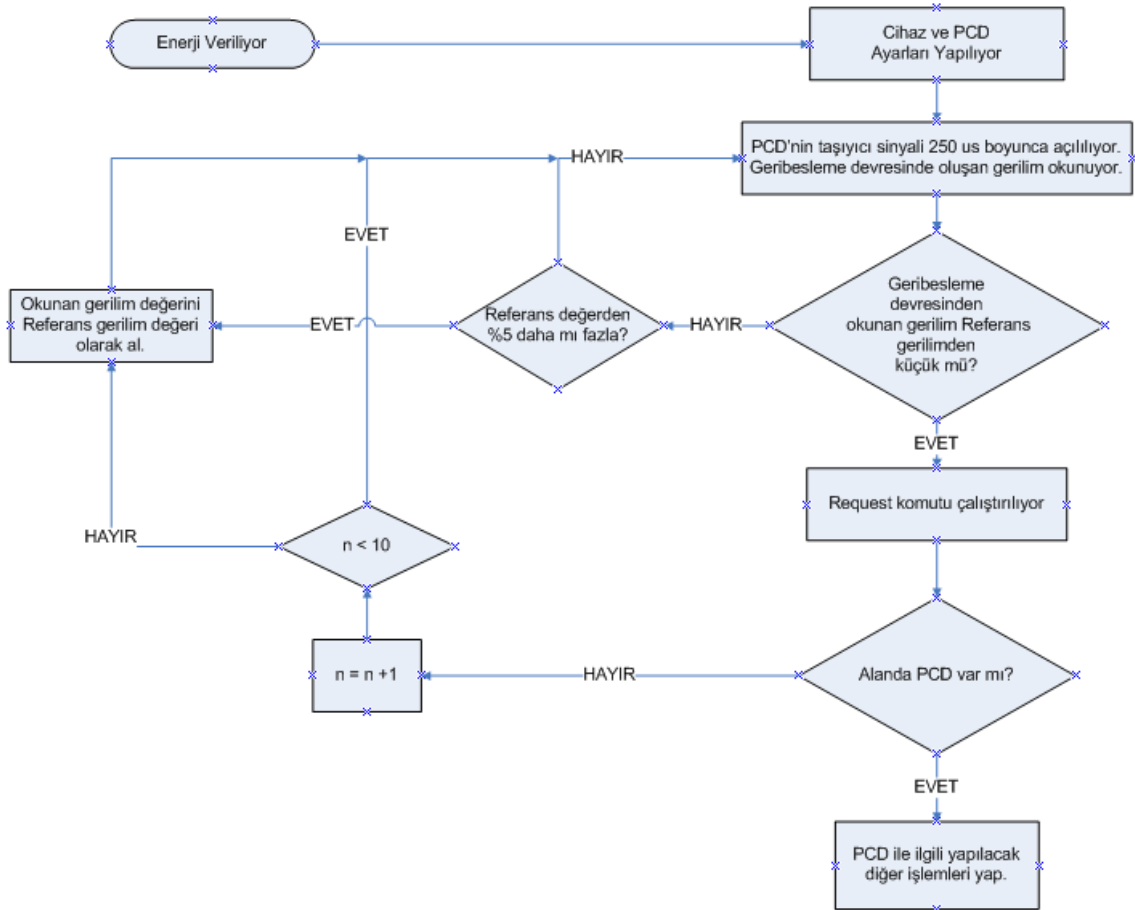
Şekil 46’daki grafiğin altındaki alan güç tüketimini verir:



Şekil 46. Okuyucunun etiket ile ‘Request’ komutu işlemindeki akım tüketimi ve zaman

Etiketi daha hızlı algılamak için geri besleme devresi kullanılırsa 1,62 msn' lik süre 0,3-0,5 msn' ye kadar düşürülebilir. Bu RF sinyalinin kısa bir süre (0,1-0,3 msn) açılmasıyla mümkün olmaktadır. Etiket ne bir komut gönderilir ne de etiketten bir cevap beklenir. Yapılan şey sadece geri besleme devresinde oluşan gerilimi kontrol etmekten ibarettir. Okuma mesafesinde herhangi bir etiket yokken alınan gerilim değeri referans olarak kaydedilir. Sonra her kontrol sırasında yeni okunan gerilim değeri bu referans değer ile karşılaştırılır. Eğer okunan gerilim değeri referans gerilim değerinden farklı ise (düşük ise) alanda bir etiket olabilir.

Alanda gerçekten bir etiket var mı diye kontrol etmek için okuyucunun 'Request Standard' komutu kullanılır.



Şekil 47. Okuyucunun akım tüketimini azaltan kart algılama akış diyagramı

### 2.3.4. Okuyucunun Etikete Bilgi Yazma Güvenilirliğini Artırmak

Okuyucunun okuma mesafesi etiketin bulunduğu mesafedeki manyetik alanın ISO 14443'e göre en az  $H_{MIN} = 1.5$  A/m olduğu mesafe kadardır. Bu standart Mifare okuyucular için 0-10cm' dir [4]. Tasarlanan antende geri besleme devresi olmaksızın bu değer 0-7cm dir. Geri besleme devresi eklendiğinde bu mesafe 0-5cm'e düşmektedir.

Etiketin insan eli tarafından tutulduğundan hareketsiz kalması olanaksızdır. Bundan dolayı eğer okuma mesafesinin en uzağında bulunan bir etikete okuma veya yazma işlemi yapılırken okuma mesafesinin dışına çıkarsa etiketten cevap alınamaz. Bu durumda işlemin sonucunun ne olduğu bilinmemektedir. Okuma sırasında bunun pek bir önemi yoktur. Çünkü bilgi ya okunmuş ya da okunmamıştır. Bilgi okunmak istenirse tekrar deneyerek bilgi okunur. Bilgi okunamazsa herhangi bir sorun olmaz. Fakat yazma işlemi yapılırken eğer etiketten cevap alınamazsa işlemin tamamlanıp tamamlanmadığı, yani bilginin yazılıp yazılmadığı bilinemez. Bu ancak etiket tekrar okunarak anlaşılabilir. Eğer etiket okunamazsa yapılan yazma işleminin sonucu bilinemez.

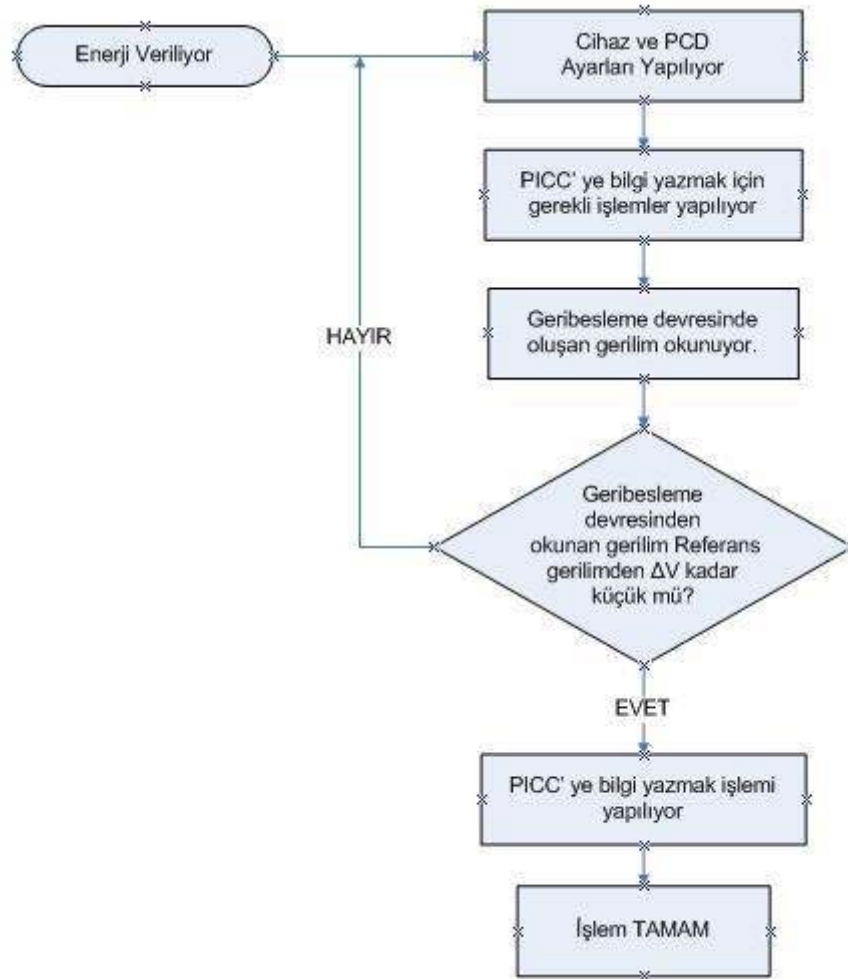
Finansal işlemlerde bu büyük bir sorundur ve bu sorunu çözmek hiç de kolay değildir. Eğer çevrimiçi bir sistem kullanılmazsa bu durumda yapılacak pek bir şey yoktur. Örneğin, ücretli geçiş sisteminde turnikeden geçerken önce etiketteki bilgiler okunur, sonra eğer kredi yeterli ise geçiş ücreti krediden düşülür ve yeni kredi miktarı etikete yazılır. Tam bu yazma işlemi sırasında etiket okuma mesafesinden çıkarsa iki durum olabilir:

- 1) Birinci durum yeni kredi bilgisi karta yazılamamıştır. Bu durumda bir sorun yoktur.
- 2) İkinci durum ise yeni kredi bilgisi karta yazılmıştır. Bu durumda etiketteki kredi düştüğü halde okuyucunun bundan haberi olmamakta ve turnike geçişe uygun hale gelmemektedir. Eğer ücretli geçiş sistemi gelişmiş bir yazılıma sahip değilse etiket tekrar okutulduğunda kredi miktarı tekrar düşecektir. Yani bir geçiş için iki ücret verilmiş olacaktır.

Yukarıdaki örnekte sadece basit olarak bu durum örneklenmiştir. Ama gerçekte çok az sıklıkta da olsa birçok durum ortaya çıkmaktadır.

Yazma işlemi sırasındaki sorunları en aza indirmek için geri besleme devresi kullanarak ISO 14443' e göre en az  $H_{MIN} = 1.5$  A/m manyetik alan şiddeti gerekmektedir. Bu işlem manyetik alan okunarak yapılmamaktadır. Onun yerine etiketin okuma/yazma yaptığı en uzak mesafede, geri besleme devresinde oluşan gerilimi referans değer olarak

alınır. Etikete yazma işlemini yapabilmek için bu referans değerden daha düşük bir gerilim değeri okumak (etiket okuyucuya daha fazla yakınlaşmış) veya bu değerin belirli bir sapmadan fazla olmaması durumu (etiketin hareketsiz olması) beklenmelidir. Bu durumda etiketin okuma mesafesinin dışına çıkması çok zordur. Çünkü yazma işlemi Şekil 45 'de gösterildiği gibi 6 msn sürmektedir [6]. İnsan elinin durağan bir durumdan hareket haline geçmesi ve etiketin okuma mesafesinden çıkarak cevap verememesi pek mümkün değildir.



Şekil 48. Okuyucunun Güvenli Bilgi Yazma Akış Diyagramı

### 3. BULGULAR VE İRDELEME

#### 3.1. Okuyucu Anten Tasarlanması

Bölüm 1.7.' deki adımlar uygulandığında, iç direnç ve endüktans; R değeri 6 ohm, L değeri 2,45μH olarak hesaplanır.

Harici Direnç;

$$R_{ext} = \frac{2\pi \cdot 13,56MHz \cdot 1,225\mu H}{2 \cdot 35} - 0,5 \cong 1 \quad (3.1)$$

olarak hesaplanır.

Paralel ve seri kondansatörler;

$$C_{2a} = \frac{1}{2\pi \cdot 13,56M \cdot \sqrt{\left(\frac{2\pi \cdot 13,56M \cdot 1,225\mu}{1 - \frac{6}{250}}\right)^2 - \frac{6^2 + (2\pi \cdot 13,56MHz)^2 (1,225\mu)^2}{1 - \frac{6}{250}} + \frac{2\pi \cdot 13,56M \cdot 1,225\mu}{1 - \frac{6}{250}}}} \quad (3.2)$$

$$C_{2a} = C_{2b} \cong 101pF \quad (3.3)$$

$$C_{1a} = C_{1b} = \frac{6^2 + \left(2\pi \cdot 13,56M \cdot 1,225\mu - \frac{1}{2\pi \cdot 13,56M \cdot 101p}\right)^2}{\frac{2\pi \cdot 13,56M \cdot 1,225\mu}{101p} \left(\frac{1}{2\pi \cdot 13,56M \cdot 101p} - 2\pi \cdot 13,56M \cdot 1,225\mu\right) - \frac{6^2}{101p}} \quad (3.4)$$
$$\cong 15pF$$

olarak hesaplanır. Bu değerdeki elemanlar kullanıldığında okuyucunun okuma mesafesinin 0-3cm civarında olduğu görülmüştür. Ayarlama işlemi uygulanarak;

$$C_{2a} = C_{2b} = 80pF \quad (3.5)$$

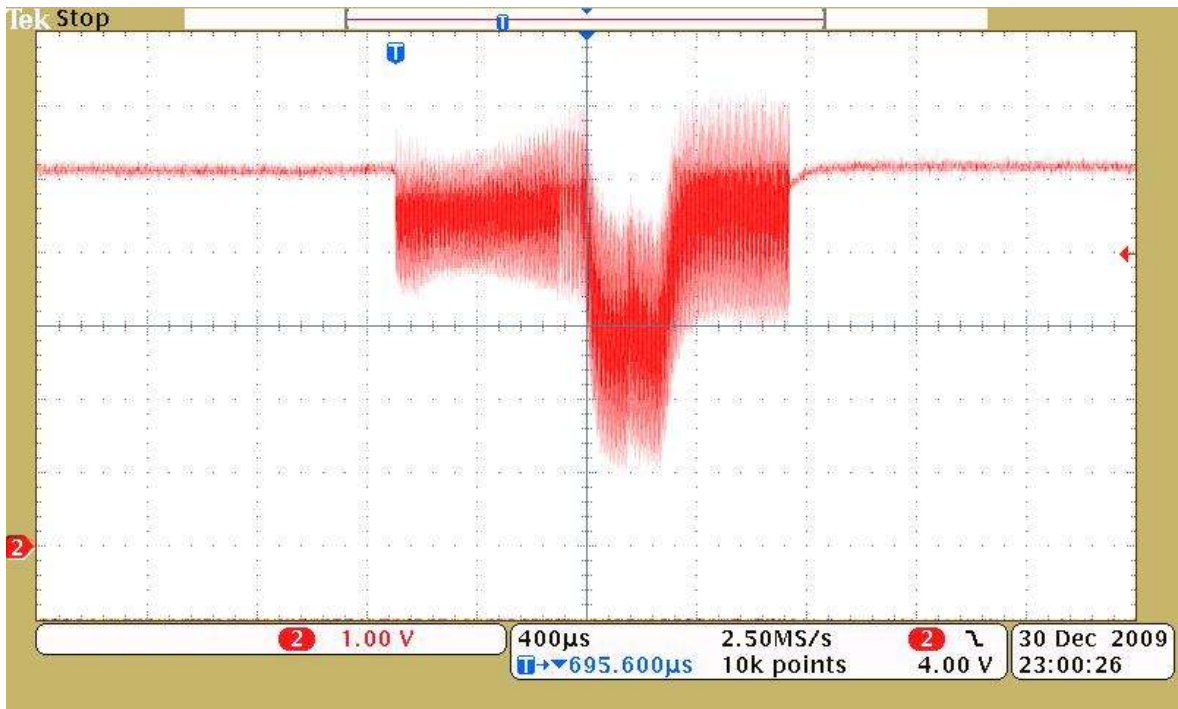
elde edilmiştir. Ve okuyucunun okuma mesafesi 0-5cm olmuştur.

Hassas ayar yapıldığında;

$$C_{2a} = C_{2b} \cong 68 pF \quad (3.6)$$

$$C_{1a} = C_{1b} = 13 pF \quad (3.7)$$

elde edilmiştir. Ve okuyucunun okuma mesafesi 0-7cm olmuştur. Alıcı devresi ayarı yapıldığında Rx pininde, Şekil 49’ da gösterilen sinyalin AC-gerilim değeri okunur.



Şekil 49. Micorun Rx pinindeki AC-gerilim seviyesi

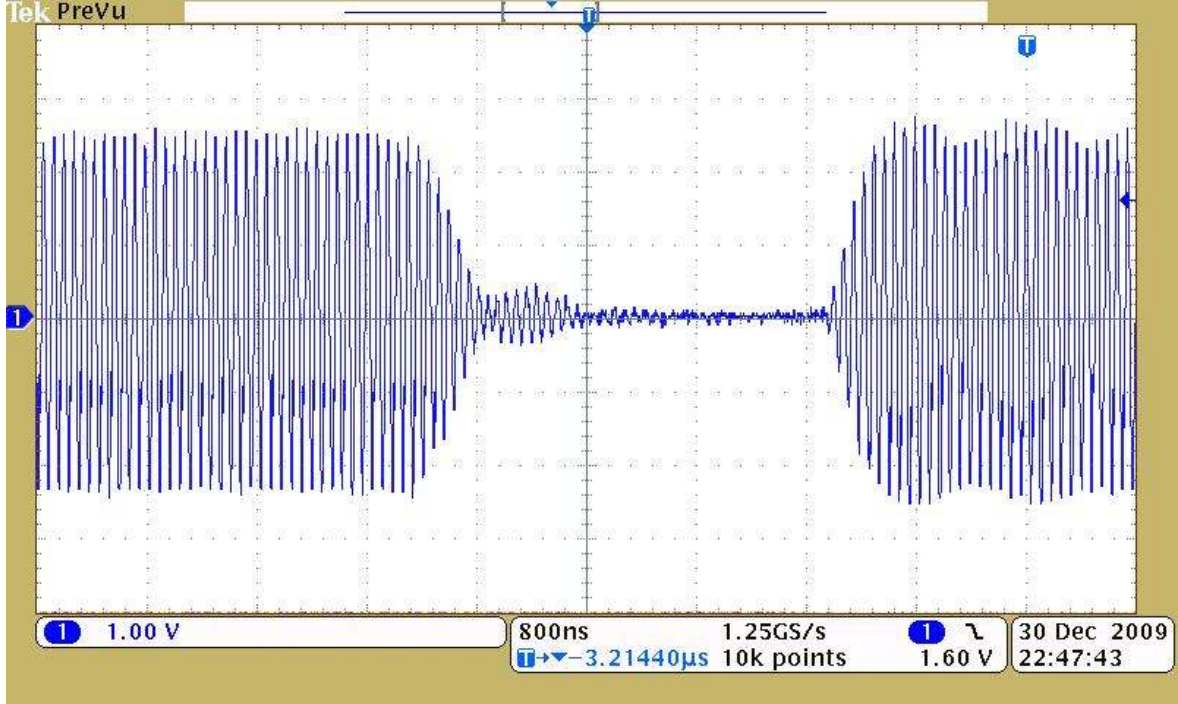
$$R_1 = 5k\Omega \quad (3.8)$$

olarak elde edilir. Görüldüğü gibi AC-gerilim seviyesi yaklaşık olarak 2,7 Vpp’ dir.

Kalite faktörü kontrolü sonucunda Şekil 50’ deki darbe şekli elde edilmiştir. Tablo 10’ da bu şekilden elde edilen Micore’ un darbe şekli süreleri verilmiştir.

Tablo 10. Micore’ un darbe şeklinin süreleri.

| Darbe uzunluğu | t1 [ $\mu$ s] | t2 [ $\mu$ s] | t3 [ $\mu$ s] | t4 [ $\mu$ s] |
|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| T1             | 3.0           | 1.4           | 0.6           | 0.4           |



Şekil 50. Micore' dan elde edilen darbe şekli

$$R_{ext} = 2,2\Omega \quad (3.9)$$

değeri kalite faktörü kontrolü sonucunda elde edilmiştir.

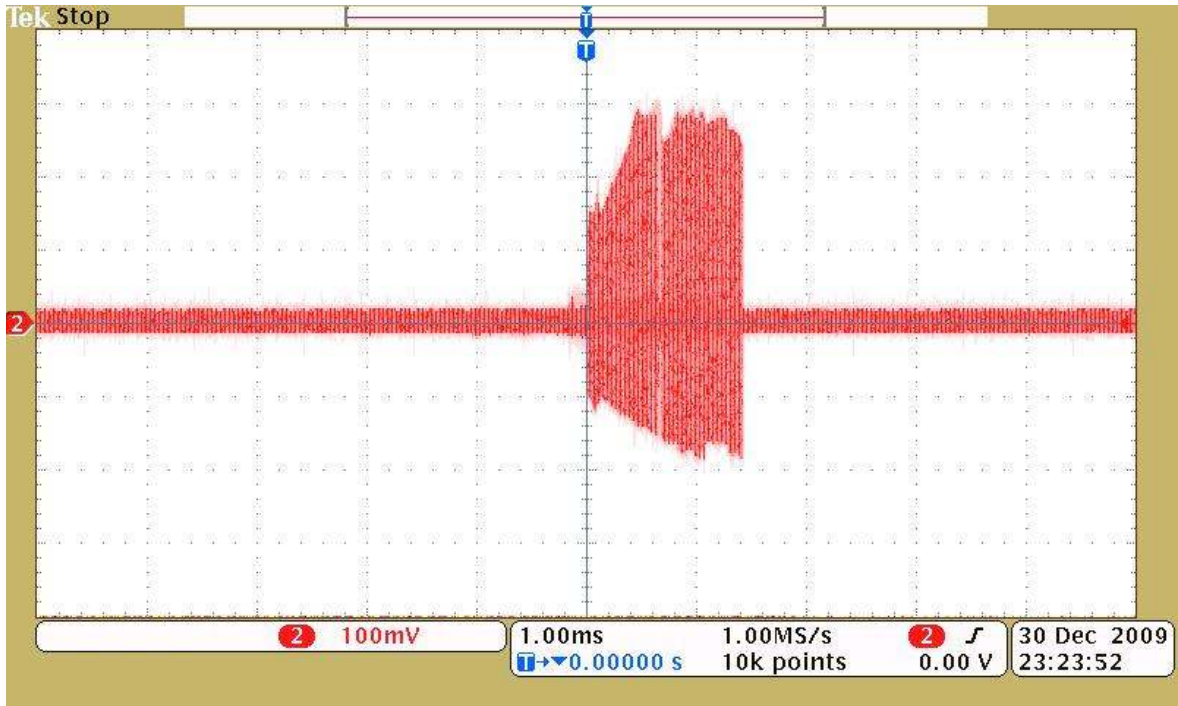
### 3.2. Geri Besleme Devresi

Devre üzerindeki bir noktadan geri besleme devresine sinyal alındığında, okuma mesafesi içinde etiket hareket ettirildiğinde geri besleme devresinde herhangi bir değişim gözlemlenmemiştir. Bundan dolayı bu bağlantı yerine devreye bir bobin eklenmiştir.

Geri besleme anten bobini devreye eklendiğinde ve okuma mesafesi içinde bir etiket hareket ettirildiğinde geri besleme devresinde bir değişim olmaktadır. Ayrıca okuyucunun okuma mesafesinde azalma olmaktadır. Geri besleme anten bobini olmadan, okuyucunun okuma mesafesi 6-7 cm iken, geri besleme anten bobini eklendikten sonra okuma mesafesi 4-5 cm' ye düşmektedir.

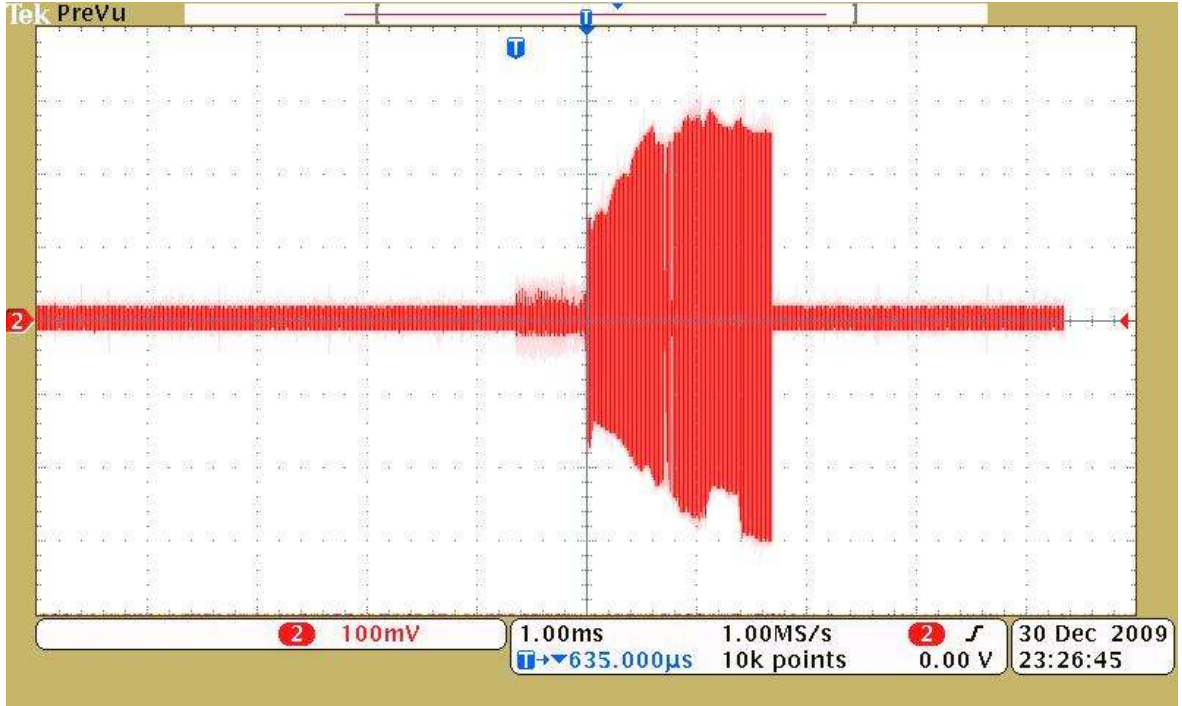
### 3.2.1. Okuyucunun Etiket Algilama Süresinin Kısaltılması ve Güç Tüketiminin Azaltılması

Okuyucu ile Mifare Request komutunu yürüttüğünde ve alanda etiket yokken Şekil 51’ daki grafik elde edilmiştir. Bu grafik, beslemeden gelen hatta 1 ohm direnç takılıp üzerinde oluşan gerilim okunarak elde edilmiştir. Akım değeri pozitif olduğu için sadece yatay ekseninin üzerinde kalan değer gerçek değerdir. Burada önemli olan büyük akım değerinin ne kadar sürdüğüdür. Şekil 51’ de görüldüğü gibi büyük akım değeri yaklaşık 1,42 msn devam etmiştir. Bu değer Mifare Request komutunun yürütüldüğü süredir ve en az bu kadar olmalıdır. Okuyucunun alanında bir etiket olduğunda ve bu etiket ile haberleşme kurulduğunda akım grafiği Şekil 52’ daki gibi olur. Şekil 52’ da görülen yüksek akım süresi artışı aslında sadece yazılımsal bir eklemedir. Yürütülen Request komutu başarılı ise Yeşil LED’ e enerji verilir.

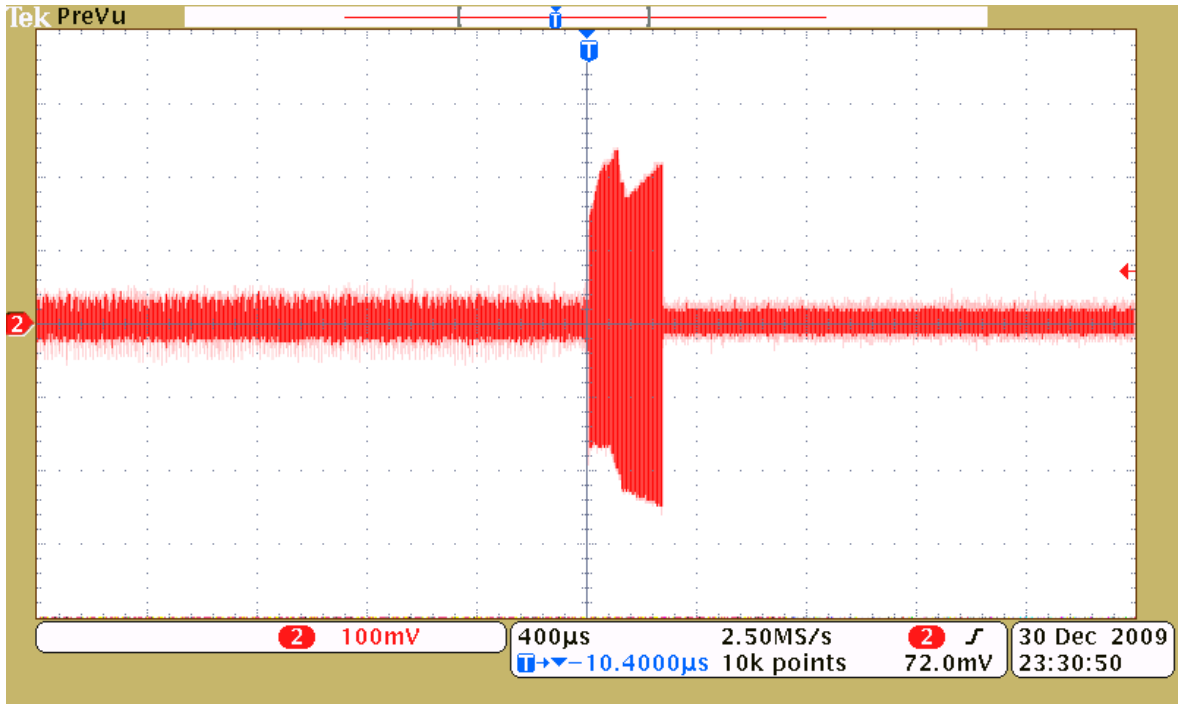


Şekil 51. Okuyucu ile Mifare Request komutu yürütüldüğü durumda akım-zaman grafiği (alandaki etiket yok)

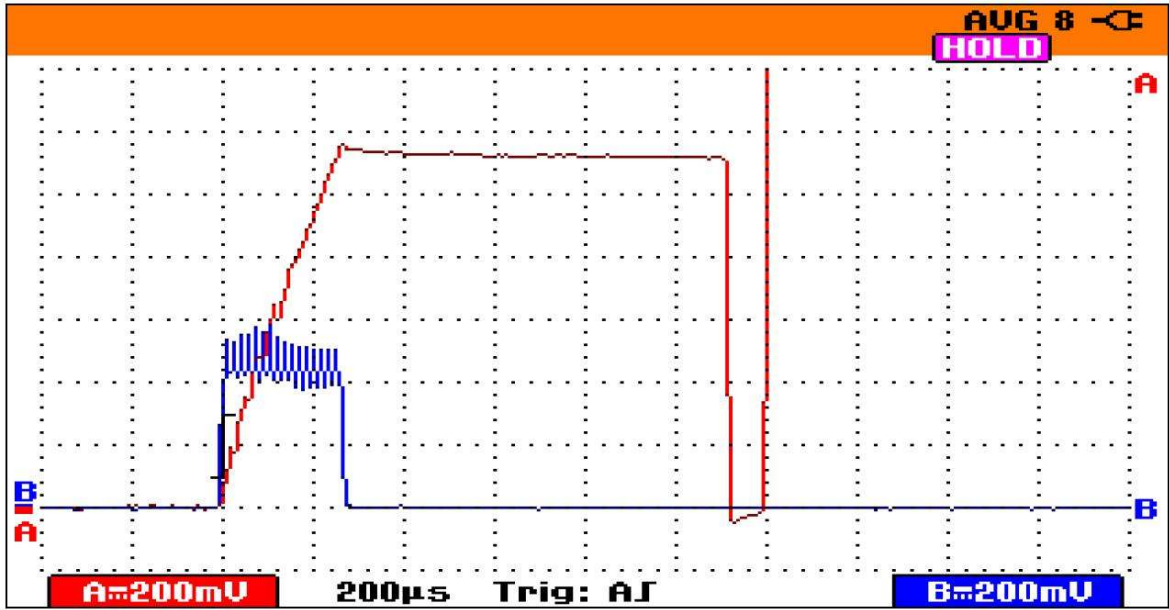
Okuyucuya etiket yaklaştırılmadan önce referans değeri elde etmek amacıyla Şekil 53’ de görüldüğü gibi B ile belirtilen RF sinyali yaklaşık 270  $\mu$ sn açık kalmaktadır. Şekil 54’ de elde edilen referans gerilim görülmektedir.



Şekil 52. Okuyucu ile etiketin Mifare Request komutu yürütüldüğü durumda Akım-Zaman grafiği (alanda etiket var)

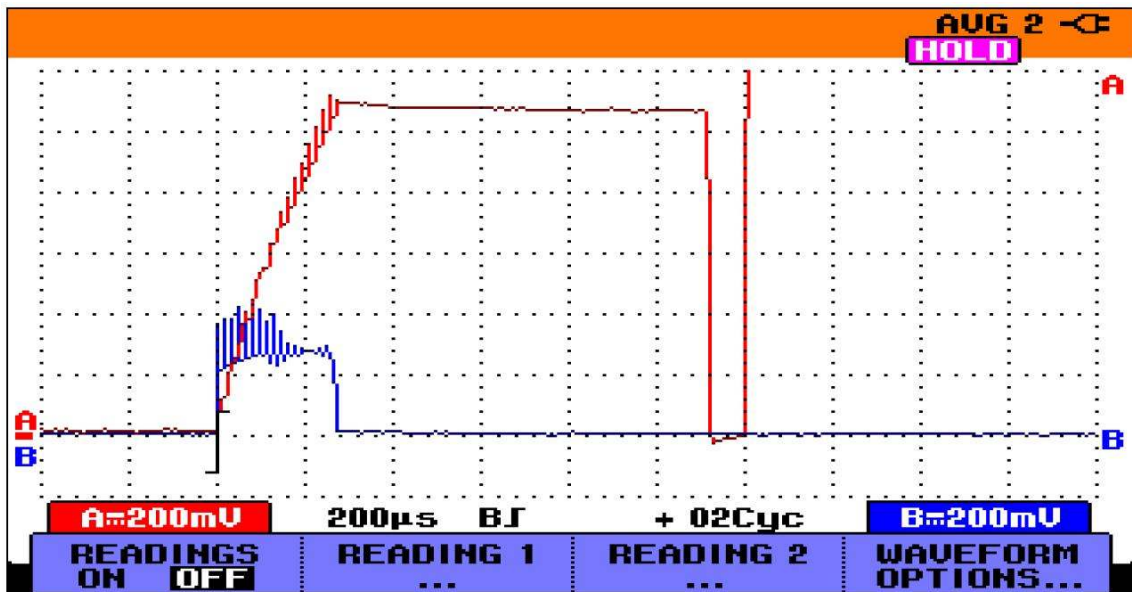


Şekil 53. Okuyucunun taşıyıcı sinyali açıldığı durumda akım-zaman grafiği



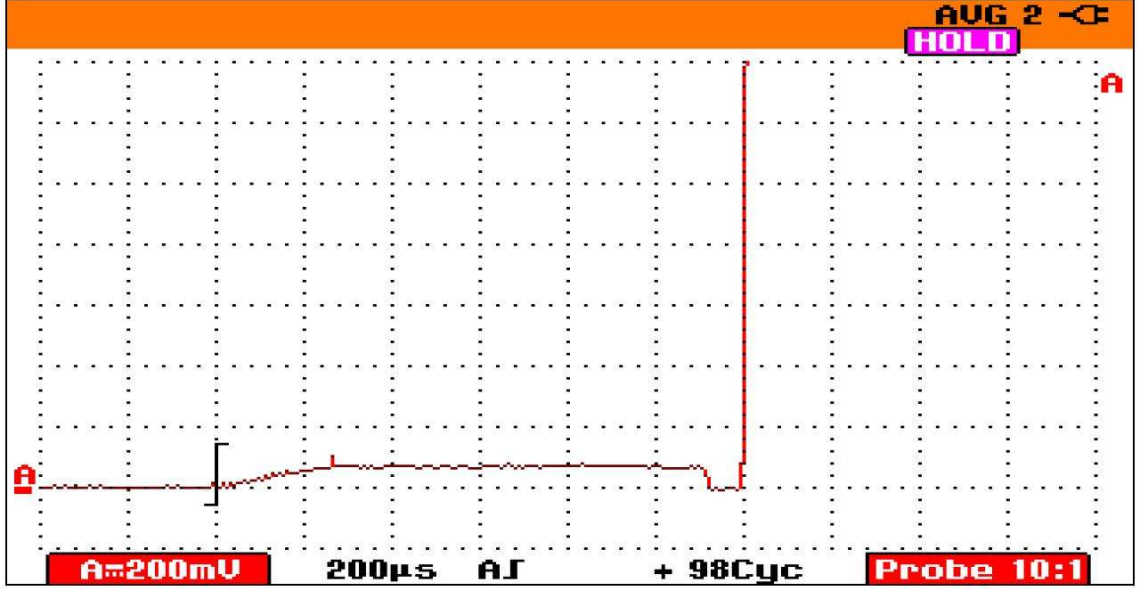
Şekil 54. Geri besleme devresinde alanda kart yokken oluşan gerilim

Bu süre zarfında geri besleme devresinde oluşan gerilim A şekilde görüldüğü gibi önce RF sinyali boyunca yükselir. RF sinyali kesilince 1 M ohm' luk direnç üzerinden deşarj olur. Referans değer RF sinyali kesildikten birkaç  $\mu$ sn sonra alınmaktadır. Bu değer yaklaşık 1,160 Volt 'tur. Şekil 55'de alana etiket yaklaştırıldığında geri besleme devresindeki gerilimin değişimini göstermektedir. Etiket okuyucuya ne kadar fazla yaklaştırılırsa geri besleme devresinde oluşan gerilim o kadar çok azalmaktadır.



Şekil 55. Geri besleme devresinde alana kart yaklaştırılınca (okuyucuya 5 cm mesafe) oluşan gerilim

Şekil 55’ te görüldüğü üzere RF sinyalin sadece 270  $\mu$ s boyunca açık kalması ile etiket yaklaşık 5 cm’ den algılanabilmektedir.



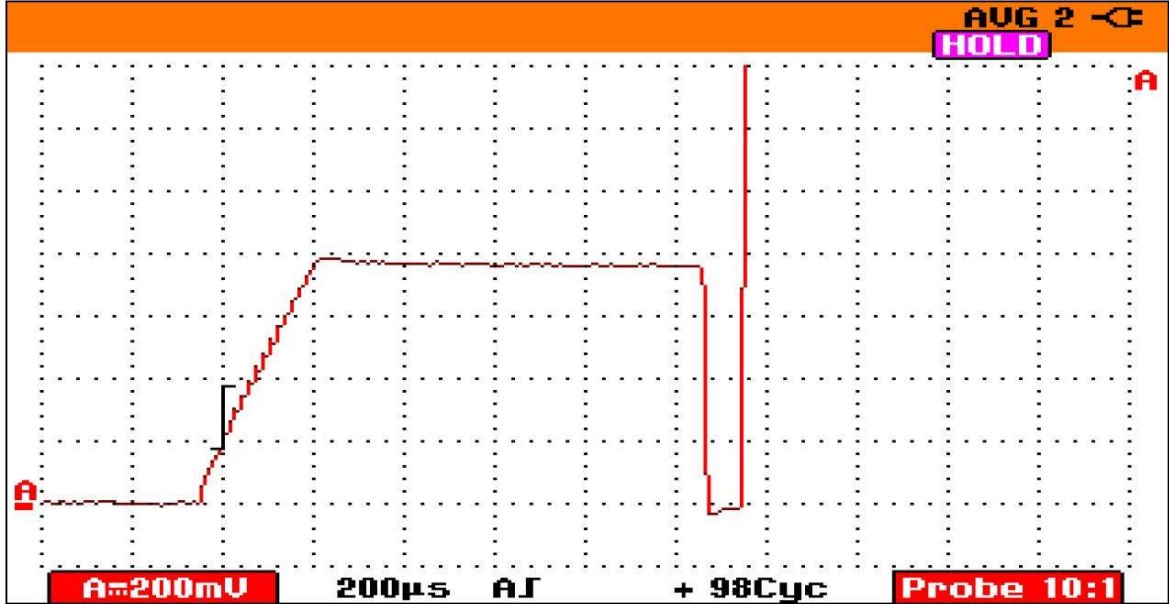
Şekil 56. Geri besleme devresinde okuyucuya temas halinde iken etiket varken oluşan gerilim

Şekil 56 ‘da etiketin okuyucunun anten yüzeyine değdiği durumda oluşan gerilimi yani oluşabilecek minimum gerilimi göstermektedir.

### 3.2.2. Okuyucunun Etikete Bilgi Yazma Güvenilirliğini Artırmak

Okuyucunun etikete güvenilir bir şekilde bilgi yazmasını sağlamak için yapılması gereken şey etikete okuyucuya maksimum okuma mesafesinden daha fazla yaklaştırmaktır. Bunu yapabilmek için önce okuma mesafesinde etiket yokken geri besleme devresini kullanarak referans bir gerilim değeri elde edilir, daha sonra maksimum okuma mesafesinden daha küçük olan bir mesafedeki (örneğin şekil 57’ da etiket 3 cm mesafede iken oluşan 0,79 Volt gerilim) gerilimi sınır değeri olarak alınır. Bu sınır değerden daha düşük gerilimler için yazma işlemine izin verilirse etikete yazma işlemi sırasında etiketin okuma mesafesinin yeteri kadar içinde olması sağlanır ve etiketin okuma mesafesinin dışına çıkması zorlaşır. Eğer yine de yazma işleminde hatalar görülürse sınır gerilim değeri biraz daha düşürülür.

Başka bir yöntemde, belirli bir süre için kart hareketi izlenir ve belirlenen gerilim değerinden farklı bir gerilim değeri okunursa yazma işlemi yaptırılmaz. Buradaki amaç kartın okuma mesafesi içinde hareketsiz kalmasını beklemektir.



Şekil 57. Geri besleme devresinde okuyucuya 3 cm mesafe etiket varken oluşan gerilim

Bilgisayar yazılımı ile etikete güvenli bilgi yazma işlemi birçok kez denenmiştir.

Güvenli yazma fonksiyonu devrede değilken etikete yazma işlemi yapılmaya çalışıldığında işlem başarısız bilgisi geldiği halde bilginin etikete yazıldığı ve hatta bazı durumlarda etiketteki bilginin sıfırlandığı görülmüştür.

Güvenli yazma fonksiyonu devreye sokulduğunda ise hatalı yazma işlemleri gerçekleşmediği görülmüştür.

Devreye sarı bir LED konarak kartın sınır değerinde olup olmadığının görsel olarak gösterimi sağlanmıştır.

#### 4. SONUÇLAR

1) Mifare teknoloji kullanılarak bir okuyucunun tasarlanma aşamaları bir örnekle gösterilmiştir.

2) Okuyucuya geri besleme devresi ekleyerek okuyucuya birçok özellik kazandırılmıştır.

3) Geri besleme kullanarak okuyucunun anten devresinde bir sorun olup olmadığı anlaşılabilmektedir. Örneğin, üretim sırasında anten devresi üzerinde herhangi bir eleman (manyetik alanı oluşturan elemanlardan) yanlışlıkla takılmaması durumunda geri besleme devresinde indüklenen gerilim referanstan farklı olmakta, böylece devrede bir sorun olduğu anlaşılmaktadır.

4) Geri besleme ve sıcaklık sensörü kullanılarak hangi sıcaklıkta okuyucunun ne kadar etkilendiği bulunabilmektedir.

5) Geri besleme kullanılarak okuyucunun konulacağı yer daha rahat bulunabilmektedir. Örneğin, okuyucu metalden etkilendiği için, geri besleme devresi metal veya manyetik alanı etkileyecek herhangi bir malzemenin yaklaştığı bilgisini verebilmektedir.

6) Daha hızlı etiket algılama ile batarya ile beslenen cihazlarda batarya ömrü uzamakta ya da gerekli batarya boyutları küçülebilmektedir.

7) Gelişmiş Mifare etiketlere bilgi yazılırken oluşacak hatalar azaltılabilmektedir.

8) Yakın alanda çalışan etiketlerin okuma mesafesi içinde hangi uzaklıkta olduğu yaklaşık olarak belirlenebilmektedir.

## 5. ÖNERİLER

- 1) Daha büyük okuyucu anteni yapılarak daha büyük okuma mesafesi elde edilebilir.
- 2) 50 ohm uyumlu anten veya bobin kullanılmak istenmezse geri besleme bobini yerine anten devresi üzerindeki belirli bir noktanın gerilimi okunabilir.
- 3) Üretim sırasında tüm okuyucular birebir aynı üretilemezler. Bundan dolayı ya her biri ayrı ayrı uyumlandırılmalı ya da aralarındaki bu fark göz ardı edilmelidir. Fakat geri besleme devresi kullanılarak okuyucu anteni otomatik olarak ayarlanabilir. Bu ayar Mifare MF RC531 entegresinin izin verdiği sınırlar içerisinde olabilir.
- 4) Geri besleme devresi kullanılarak etiket algılama süresi daha kısa veya uzun yapılabilir. Geri besleme bobini boyutu ve istenen hassasiyete göre algılama süresi ayarlanabilir.
- 5) Etiketın besleme devresinde oluşan gerilim değeri okuyucuya geri besleme olarak aktararak, harici bir bobin kullanmadan da güvenilir yazma işlemi yapılabilir. Etiketın okuma mesafesinin içinde yaklaşık ne kadar uzakta olduğu bulunabilir.
- 6) Üretilen etiketlerin birbirinden farklı olup olmadığı kontrol edilebilir. Bu işlem belirli bir mesafede aynı referans gerilimi oluşturup oluşturulmadığı bakılarak yapılabilir.

## **6. KAYNAKLAR**

1. Garfinkel, S., Understanding RFID Technology, Garfinkel Book, 2005
2. Nvis Technologies, RFID Trainer NV4000 Operating Manual, Yayın No: 1800-103-550 Ver 1.1, India
3. Lehpamer, H., RFID Design Principles, Artech House Inc, Norwood, 2008
4. Philips, Hints for ISO 14443A PCD Antenna Design, 2002
5. Philips, Micore Directly Matched Antenna Design , 2002
6. Philips, MF1 IC S50 Functional Specification, Yayın No: 001052, 15 Ocak 2007
7. Susy d'Hont, The Cutting Edge of RFID Technology and Applications for Manufacturing and Distribution, Texas Instrument TIRIS, USA, 2009
8. Jones A. K., Dontharaju S., Tung S., Hawrylak P.J., Mats L., Hoare R., Cain T.J. ve Mickle M. H., Passive active radio frequency identification tags, Inderscience Enterprises Ltd., USA, 2006
9. Philips, MF RC531 ISO14443 Reader IC, Version No: 3.3, Aralık 2005
10. Texas Instrument, HF Antenna Design Notes, Yayın No: 11-08-26-003, Ekim 2003

## 7. EKLER

### 7.1. Ek 1.

Optimum Anten Yarıçapı Tahmini :

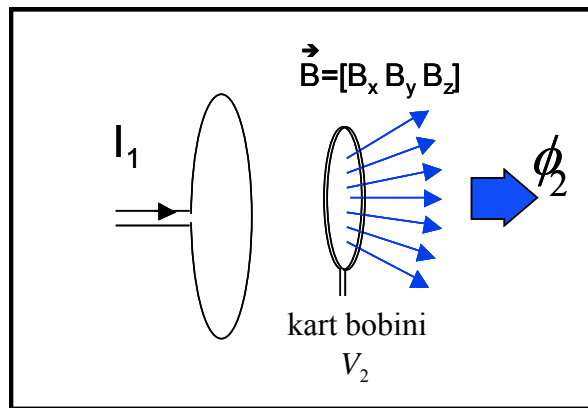
Elektromanyetik indüksiyon:

$$V_{ind} = -N_2 \cdot \frac{d\phi}{dt} = -N_2 \cdot \frac{d}{dt} \int_A \vec{B}_x \cdot d\vec{A} \quad (E.1)$$

İndüklenen açık çevrim gerilimi:

$$\begin{aligned} v_{20}(t) &= N_2 \frac{d\hat{\phi}_2 \cdot \sin \omega t}{dt} \\ &= N_2 \cdot \omega \cdot \hat{\phi}_2 \cdot \cos \omega t \end{aligned} \quad (E.2)$$

$$\begin{aligned} V_{20} &= N_2 \cdot \omega \cdot \hat{\phi}_2 \\ &= N_2 \cdot \omega \cdot \hat{B} \cdot A_2 \end{aligned} \quad (E.3)$$



Ek Şekil 1. Endüklenen manyetik akı

(Ek 1' in devamı)

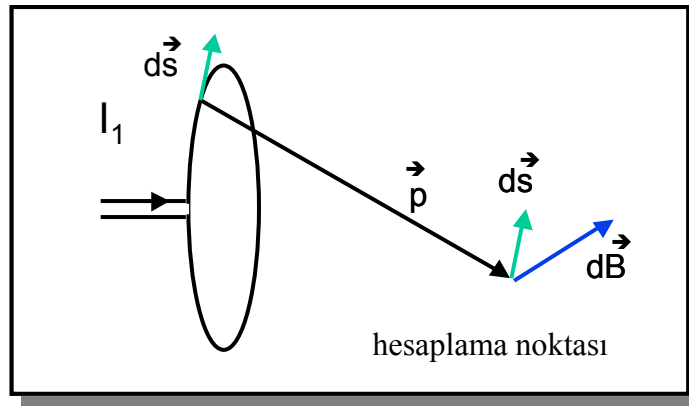
Kart bobin parametereleri:

A2 : Alan

N2 : : Sarım sayısı

Biot ve Savart Yasası:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 \cdot I_1}{4\pi} \cdot \oint \frac{[d\vec{s} \times \vec{p}]}{p^3} \quad (E.4)$$



Ek Şekil 2. Hesaplama noktasında endüklenen manyetik akı

Kuplaj katsayısının optimizasyonu:

$$V_{20} = \omega \cdot M \cdot I_1 \quad (E.5)$$

$$M = \frac{V_{20}}{\omega \cdot I_1} \quad (E.6)$$

$$V_{20} = N_2 \cdot \omega \cdot \hat{B} \cdot A_2 \quad (E.7)$$

$$M = k \cdot \sqrt{L_1 \cdot L_2} \quad (E.8)$$

(Ek 1' in devamı)

$$M = \frac{N_2 \cdot \hat{B} \cdot A_2}{I_1} \quad (\text{E.9})$$

$$\hat{B} = \mu_0 \cdot I_1 \cdot \frac{N_1 \cdot r^2}{2 \cdot (r^2 + x^2)^{\frac{3}{2}}} \quad (\text{E.10})$$

$$k = \mu_0 \cdot \frac{r^2}{2 \cdot (r^2 + x^2)^{\frac{3}{2}}} \cdot \sqrt{\frac{N_1^2 \cdot N_2^2}{L_1 \cdot L_2}} \cdot A_2 \quad (\text{E.11})$$

$$L_1 = L_{01} \cdot N_1^2 \quad (\text{E.12})$$

$$L_2 = L_{02} \cdot N_2^2 \quad (\text{E.13})$$

$L_{01}, L_{02}$  : tek sarım endüktansı

$$L_{01} \approx \frac{2 \cdot 10^{-7}}{[m]} \cdot 2\pi \cdot r \cdot \ln\left(\frac{2\pi \cdot r}{d}\right) \quad (\text{E.14})$$

Kuplaj Katsayısı  $k = f(r, x)$ :

$$k = \mu_0 \cdot \frac{r^2}{2(r^2 + x^2)^{\frac{3}{2}}} \cdot \frac{A_2}{\sqrt{L_{01} \cdot L_{02}}} \quad (\text{E.15})$$

Parametreler ve Birimler :

$V_{\text{ind}}$ : İndüklenen gerilim

$N$ : sargı sayısı

$\Phi$ : Manyetik akı

**(Ek 1' in devamı)**

|                    |                                                     |
|--------------------|-----------------------------------------------------|
| $t$ :              | Zaman                                               |
| $B$ :              | Manyetik akı yoğunluğu                              |
| $A$ :              | (Bobin) Alan                                        |
| $V_{20}$ :         | İndüklenen açık çevrim gerilimi (kart anten bobini) |
| $I_1$ :            | PCD anten bobin akımı                               |
| $M$ :              | Ortak endüktans (transformatör modeli)              |
| $L$ :              | Endüktans                                           |
| $r$ :              | PCD anten yarıçapı                                  |
| $x$ :              | PCD-PICC çalışma mesafesi                           |
| $k$ :              | Kuplaj katsayısı                                    |
| $L_{01}, L_{02}$ : | Tek sarım endüktansı                                |
| İndis 1:           | PCD anten                                           |
| İndis 2:           | PICC anten ifade etmektedir.                        |

## ÖZGEÇMİŞ

Mehmet HOŞOĞLU, 31 Ekim 1975 tarihinde Trabzon' un Sürmene İlçesinde doğdu. İlköğrenimini Sürmene' de Hasan Tahsin Kırallı İlkokulu' nda tamamladı. Orta ve lise öğrenimini Sürmene Lisesi' nde iyi derece ile tamamladıktan sonra 1993 yılında girdiği Selçuk Üniversitesi, Mühendislik – Mimarlık Fakültesi, Elektrik – Elektronik Mühendisliği Bölümünü 1998–1999 öğretim döneminde bitirerek Elektrik-Elektronik Mühendisi unvanıyla mezun oldu. 1999 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim dalı, Elektronik Bilim dalında yüksek lisans eğitimi almaya hak kazandı. 1999–2000 öğretim döneminde Karadeniz Teknik Üniversitesi, Yabancı Diller Bölümü, İngilizce Hazırlık Sınıfını başarıyla bitirdi. 2000–2001 öğretim döneminde yüksek lisans eğitimine başladı. 2000-2002 yıllarında Tedaş Trabzon EDM' de Elektrik mühendisi olarak çalıştı. 2002-2003 Aralık döneminde askerlik görevini Erzurum'da tamamladı. 2004-2008 yılları arasında EAS Elektronik şirketinde üretim ve arge mühendisi olarak çalıştı. 2008 Aralık' tan beri Tedaş Genel Müdürlüğü' nde elektrik mühendisi olarak çalışmaktadır. Orta derecede İngilizce ve Almanca bilmektedir.