

Antene pasivnih transpondera RFID sustava

Kraljević, Monika

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Virovitica University of Applied Sciences / Veleučilište u Virovitici**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:165:020414>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-09-18**

Repository / Repozitorij:



[Virovitica University of Applied Sciences Repository - Virovitica University of Applied Sciences Academic Repository](#)



VELEUČILIŠTE U VIROVITICI

MONIKA KRALJEVIĆ

**ANTENE PASIVNIH TRANSPONDERA
RFID SUSTAVA**

ZAVRŠNI RAD

Virovitica, 2022.

VELEUČILIŠTE U VIROVITICI

Preddiplomski stručni studij Elektrotehnike, smjer Telekomunikacije i informatika

Monika Kraljević

ANTENE PASIVNIH TRANSPONDERA RFID SUSTAVA

ZAVRŠNI RAD

podnesen Veleučilištu u Virovitici
radi stjecanja akademskog zvanja
stručne prvostupnice
elektrotehnike

Virovitica, 2022.



Veleučilište u Virovitici

Preddiplomski stručni studij Elektrotehnike - Smjer Telekomunikacija i informatika

OBRAZAC 1b

ZADATAK ZAVRŠNOG RADA

Student/ica: **MONIKA KRALJEVIĆ** JMBAG: **0307016408**

Imenovani mentor: **Enes Ciriković, dipl. ing., v. pred.**

Imenovani komentor: -

Naslov rada:

Antene pasivnih transpondera RFID sustava

Puni tekst zadatka završnog rada:

Prvim dijelom završnog rada obuhvatit će se osnovni pregled značajki i podjela RFID sustava. Potom će se u drugom dijelu rada detaljnije prikazati radne, teorijske i konstrukcijske značajke antena pasivnih transpondera te će se predstaviti neke osnovne izvedbe dotičnih vrsta antena.

Datum uručenja zadatka studentu/ici: 28.07.2022.

Rok za predaju gotovog rada: 09.09.2022.

Mentor:

Enes Ciriković, dipl. ing., v. pred.

Enes Ciriković

Dostaviti:

1. Studentu/ici
2. Povjerenstvu za završni rad - tajniku

ANTENE PASIVNIH TRANSPONDERA RFID SUSTAVA

Sažetak

Tehnologija radiofrekvencijske identifikacije (RFID, eng Radio Frequency Identification) predstavljena je kao prikladna i razvijena alternativa crtičnim i QR kodovima koja se već koristi u raznim aplikacijama u svakodnevnom životu. RFID omogućuje udaljenu identifikaciju objekata bez potrebe za fizičkom vidljivošću. U ovom radu bit će opisani svi elementi važni za formiranje RFID sustava, počevši od transpondera koji sadrži čip i antenu za primanje i slanje podataka, sve do čitača i odgovarajućih antena. Sami razvoj antene je od teorijske važnosti ali i praktične vrijednosti za RFID sustav. Osim toga, opisan će se i pasivna antena transpondera te glavni pokazatelji učinkovitosti pasivnih transpondera.

Ključne riječi: antena, čitač, pasivni, RFID, transponder

Mentor: Enes Ciriković, dipl.ing., v.pred.

ANTENNAS OF PASSIVE TRANSPONDER RFID SYSTEMS**Abstract**

Radio Frequency Identification (RFID) technology is presented as a suitable and well developed alternative to bar codes and QR codes. RFID technology is already used in various applications in everyday life. RFID enables remote identification of objects without the need for physical visibility. This paper will describe all of the important elements for the formation of an RFID system, starting from the transponder that contains a chip and an antenna for receiving and sending data, all the way to the reader and their appropriate antennas. The development of the antenna itself is of theoretical importance but also of practical value for the RFID system. In addition, the passive transponder antenna and the main performance indicators of passive transponders will be described.

Keywords: antenna, reader, passive, RFID, tag

Supervisor: Enes Ciriković, dipl.ing., v.pred.

Sadržaj

Uvod	1
1. RFID sustavi.....	2
1.1 RFID transponder	3
1.1.1. Ostale podjele RFID transpondera	4
1.2 Osnovna svojstva transpondera	7
1.3 RFID čitač	7
2. Antene u RFID sustavima	8
2.1 Antena transpondera.....	9
2.2 Antena čitača	10
3. Primjer modela antene pasivnog RFID transpondera.....	12
3.1 Parametri antene pasivnog RFID transpondera.....	13
3.2 Primjeri antene pasivnog RFID transpondera	14
3.3 Antene pasivnih RFID transpondera na metalu	16
4. Arhitektura pasivnih RFID transpondera	18
4.1 Stupanj napajanja	19
4.2 Stupanj modulatora i demodulatora	19
4.3 ASIC	20
5. Zaključak	21
Popis literature.....	22
Popis slika	24

Uvod

RFID pruža bežičnu identifikaciju i mogućnost praćenja korištenjem jednostavnih uređaja koji se koriste za fizičko označavanje objekata ili ljudi. Tehnologija sama po sebi nije nova te je kroz svoj razvojni put pronašla brojne primjene. Tehnologija se iz godine u godinu nastavlja sve više poboljšavati te tako doprijeti većom isplativošću i učinkovitošću.

Svjesni mi ili ne, RFID tehnologija je sve zastupljeniji dio današnjice. Zbog svoje fleksibilnosti i univerzalne primjenjivosti, gotovo svakodnevno se pronalaze neke nove primjene. Uz već one dobro poznate poput evidentiranja roba i usluga u industriji, trgovini, prometu i drugim djelatnim granama, tehnologija je primjenjiva i u svakodnevnom životu unutar kućnih okruženja kao potpora uobičajenim sustavima te kao sustavi sami za sebe.

U prvom djelu rada opisan je kratak uvod u RFID sustav te osnovni elementi nužni za razumijevanje RFID sustava.

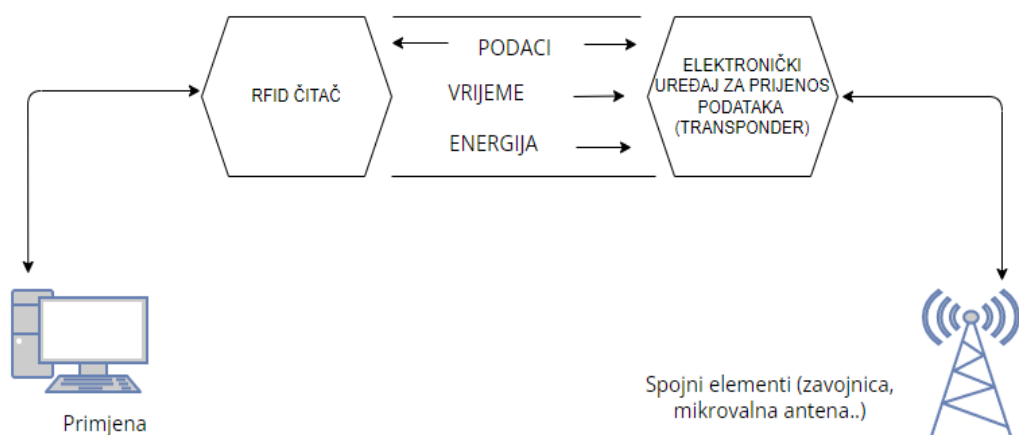
Antene su ključan element u RFID sustavima. Stoga, u drugom djelu rada posvećena je pažnja na dvije vrste antena koje se koriste u RFID sustavu: antena transpondera i antena čitača. Svaka vrsta antena ovisno da li se primjenjuje u transponderu ili u čitaču mora ispuniti određene uvjete koji će biti razmotreni u ovom djelu rada.

Treći dio rada posvećen je primjerima modela antena pasivnih RFID transpondera. Opisan je način napajanja čipa pasivnog transpondera preko antene te parametri antene na koje treba obratiti pažnju prilikom odabira antene. Četvrti dio rada posvećen je arhitekturi pasivnih RFID transpondera, koji su jedan od najpopularnijih rješenja koje nam pruža RFID tehnologija. Opisane su prednosti koje pružaju pasivni transponderi te sastavni blokovi transpondera, njihove karakteristike i pojedine uloge unutar transpondera. Naposljetku, na osnovu cijelog istraživanja provedenog tijekom izrade ovog rada, donosim zaključak o RFID sustavima i prednostima koje nam tehnologija pruža.

1. RFID sustavi

RFID je široko rasprostranjena tehnologija koja označava radiofrekvencijsku identifikaciju, odnosno komunikacijsko rješenje koje nam omogućuje prijenos podataka, najčešće u svrhu identifikacije objekata raspoređenih na kraćim udaljenostima. Podaci se nalaze na elektroničkom uređaju za prijenos i pohranu podataka – transponderu. Uz pomoć elektromagnetskog polja koje odašilje čitač, transponder se napaja te odašilje podatke koji su zapisani u njemu koje čitač zaprima.

Temeljna arhitektura RFID sustava prikazana je slikom 1. Na njoj se ističu dva osnovna elementa: RFID čitač te transponder. Uloga čitača je slanje upita i čitanje podataka koje odašilju transponderi, dok je uloga transpondera odgovaranje na upite poslano od strane čitača podacima zapisanim u njima.

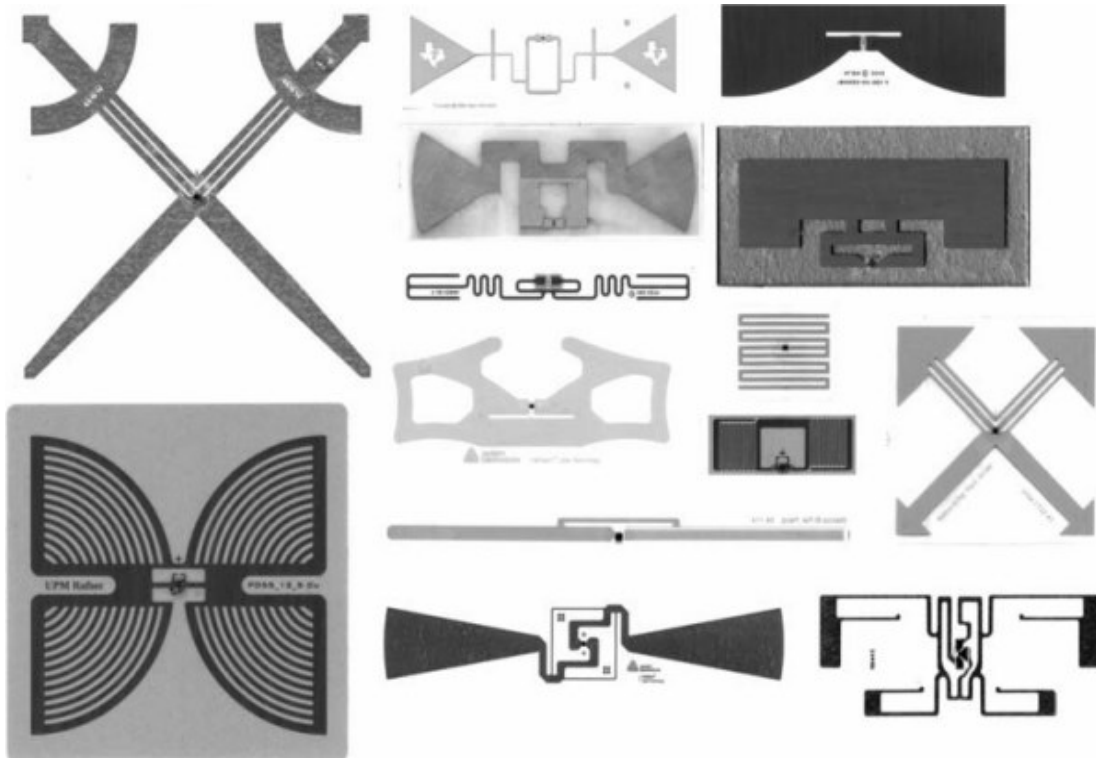


Slika 1. Prikaz glavnih komponenti RFID sustava [2]

Mehanizmi identifikacije usredotočeni su na bežičnu komunikaciju između jednostavnog uređaja, nazvanog RFID transponder, koji je pričvršćen na predmet i složenijeg uređaja, nazvanog RFID čitač, koji može primati informacije od nekoliko transpondera postavljenih u blizini. Točnije, čitač generira upitni signal, koji se putem antene zrači u okolni prostor. Takav signal pogađa transponder koji je pričvršćen na objekt. Kao odgovor na signal upita, RFID transponder generira signal odgovora koji sadrži informacije o transponderu koje prima RFID čitač. Čitač je povezan s glavnim računalom ili računalnom mrežom, kako bi obrađivao i dijelio podatke.

1.1 RFID transponder

Transponder je uređaj koji se aktivira elektromagnetskim poljem čitača te šalje podatke čitaču koji su pohranjeni u njemu. Važan kriterij za razlikovanje RFID sustava je način rada napajanja transpondera. Prema načinu napajanja razlikujemo pasivne, aktivne i polupasivne transpondere.



Slika 2. Primjeri izvedbi RFID transpondera [3]

Pasivni transponderi nemaju vlastito napajanje. Putem antene transpondera, energija, elektromagnetskog polja čitača osigurava nužne uvjete za rad transpondera. Za prijenos podataka od transpondera do čitača, čitač modulira odašiljano elektromagnetsko polje kako bi omogućio napajanje transpondera tijekom odgovora ili transponder na kratko vrijeme pohranjuje energiju u sebi te pomoću pohranjene energije šalje odgovor čitaču. To znači da se energija koju emitira čitač koristi za prijenos podataka i od čitača do transpondera, ali i natrag do čitača. Ako je transponder izvan dometa čitača, transponder nema napajanje i stoga se neće moći ostvariti potrebna komunikacija.

Aktivni transponderi imaju vlastito napajanje koje se koristi prvenstveno za potrebe rada čipa. U tom slučaju energija primljena dolaznim elektromagnetskim valom od čitača nije u funkciji napajanja elemenata transpondera pa stoga i samo polje može biti slabije u odnosu na

ono potrebno za rad pasivnih izvedbi transpondera. Aktivni transponderi generiraju odgovor slično principu pasivnih transpondera gdje moduliraju polje zaprimljeno od čitača. Usredotočeni na namjenski izvor energije, aktivni transponderi mogu obavljati složene zadatke i komunicirati na vrlo velikim udaljenostima, reda veličine stotine metara.[2] Za razliku od pasivnih transpondera, koji mogu odgovoriti samo na zahtjev, aktivni transponderi mogu započeti komunikaciju s čitačem, što se može zahtijevati u određenim aplikacijama. S obzirom na autonomno napajanje najčešće realizirano nekom vrstom baterije, očekivani vijek trajanja aktivnih transpondera ovisi o trajanju baterije, a u mnogim slučajevima cijeli transponder se mora zamijeniti nakon što se baterija istroši.

Polupasivni transponderi, poznati kao pasivni transponderi pomoću baterija (BAP, eng. Battery – Assisted Passive), imaju vlastito napajanje, obično malu bateriju. Koriste se za transpondere opremljenim sensorima, kojima je energija potrebna za kontinuirano prikupljanje i pohranjivanje podataka, dok se aktivni radio odašiljač aktivira po potrebi. Dizajnom polupasivnih transpondera minimizira se složenost uređaja i potrošnja električne energije iz izvora.



Slika 3. Primjeri RFID transpondera (pasivni, polupasivni i aktivni) [4]

1.1.1. Ostale podjele RFID transpondera

Prema tipu memorije, razlikujemo sljedeće vrste transpondera:

1. Transponderi s Read only (RO) memorijom - najjednostavniji oblik RFID-a gdje se podaci mogu samo čitati. Kada se jednom pohrani neka informacija, više se ne može mijenjati.
2. Transponderi s Read / Write (RW) memorijom – napredniji oblik RFID-a gdje korisnik može neograničeno brisati i ponovno pisati željeni sadržaj. RW ima mogućnost pohraniti veće količine podataka.
3. Transponderi s Write once, read only (WORM) memorijom - vrlo slična RO memoriji s izuzetkom da se u ovakvu memoriju podaci mogu upisivati samo jednom.

Prema radnom frekvencijskom području transpondera, razlikuju se sljedeće vrste RFID sustava:

1. Sustavi u području niskim frekvencija (LF, eng. Low Frequency) mogu raditi od 30 kHz do 300 kHz, ali većina njih radi na 125 kHz i 134,2 kHz. LF RFID moguće je čitati najčešće pojedinačno jer zbog niske frekvencije ne posjeduju antikolizijska svojstva pa izmjenično čitanje odjednom nije moguće. LF transponderi mogu se čitati s vrlo kratkih udaljenosti, od nekoliko centimetara, brzina čitanja je relativno spora i višestruko čitanje je nepraktično. Kapacitet pohrane podataka je vrlo mali. Budući da magnetska polja na niskim frekvencijama trpe relativno nisku interakciju s materijalima, LF transponderi mogu raditi kada su pričvršćeni ili čak ugrađeni na objekte koji sadrže materijale visoke permitivnosti.

Klasične primjene LF sustava uključuju praćenje životinja, kontrolu pristupa i identifikaciju farmaceutskih proizvoda na razini artikla.

2. Sustavi u području visokih frekvencija (HF, eng. High Frequency) se kreću od 3 MHz do 30 MHz, ali većina HF RFID sustava radi na 13,56 MHz. HF transponderi se mogu proizvoditi u vrlo tankim i relativno jeftinim naljepnicama te daju domet očitavanja od nekoliko desetaka centimetara, u nekim slučajevima i do jednog metra. HF transponderi posjeduju memoriju veličine do 4 kB. Relativno su neosjetljivi na objekte, ali u mnogo nižem stupnju u usporedbi s LF transponderima. Iako se HF transponder još uvijek može očitati kada je okružen ljudskom rukom ili pričvršćen na drvo, tekućine i tkiva, ne može raditi kada je postavljen na metalne površine.

Klasične primjene HF sustava su komunikacija u blizini (NFC, eng. Near Field Communication), elektroničko izdavanje karata, pametne kartice, knjižnične knjige i označavanje zrakoplovne prtljage, između ostalog.

3. Sustavi u području ultra visokih frekvencija (UHF, eng. Ultra High Frequency) rade u frekvencijskim pojasevima koji su centrirani oko 433 MHz (aktivni transponderi) i od 840 MHz do 960 MHz (pasivni i polupasivni transponderi). Za razliku od LF i HF sustava, pasivni UHF transponderi obično koriste radijsko spajanje za komunikaciju s čitačem. Priroda radijskog spajanja omogućuje pasivnim UHF-RFID sustavima rad na velikim udaljenostima, reda veličine nekoliko metara, s mnogim transponderima koji dosežu udaljenosti do 15 m u optimalnim uvjetima. Štoviše, pasivne UHF RFID transpondere možemo pronaći u tankim i jeftinim naljepnicama, čije se dimenzije mogu lako prilagoditi tako da odgovaraju velikom broju malih predmeta. Na performanse pasivnih UHF-RFID transpondera negativno utječe

prisutnost vode, tkiva i metala. Iako je velik trud doveo do nekoliko dizajna transpondera optimiziranih za rad u blizini tekućina ili za pričvršćivanje na metalne površine, takva rješenja ispaštaju od povećanih dimenzija i troškova u odnosu na transpondere opće namjene. Kao posljedica toga, označavanje malih metalnih predmeta poput limenki i alata, pomoću pasivnih UHF-RFID transpondera i dalje je izazovno.

Zbog prednosti niske cijene i velike radne udaljenosti, UHF-RFID transponderi se trenutno koriste za brojne primjene. To uključuje upravljanje lancem opskrbe i zalihama, kontrolu pristupa parkiranju, praćenje prtljage i imovine.

4. RFID sustavi u mikrovalnom frekvencijskom području (SHF, eng.) području visokih frekvencija (SHF, eng. Super High Frequency) rade na frekvencijama usmjerenim na 2,4 GHz i 5,8 GHz, u skladu s ograničenjima odgovarajućih industrijskih, znanstvenih i medicinskih frekvencijskih raspona pojasa (ISM, eng. Industrial, Scientific and Medical band). Mikrovalni RFID sustavi temelje se na aktivnim transponderima. Usmjereni su na označavanje relativno skupih predmeta na velikim udaljenostima ili na pružanje dodatnih značajki. Kao prvi RFID sustavi koji su uspješno prihvaćeni za komercijalne primjene u cijelom svijetu, mikrovalni RFID uređaji su relativno inteligentna tehnologija, koja se i danas široko koristi. Prijevoz, kontrola pristupa i lokacijski sustavi u stvarnom vremenu među klasičnim su primjenama mikrovalnih RFID sustava.



Slika 4. Primjeri RFID transpondera (LF transponder, HF transponder, UHF transponder, mikrovalni aktivni transponder) [4]

Prema fizičkoj izvedbi transpondera, razlikujemo:

1. RFID etikete se isporučuju u različitim oblicima, veličinama, kapacitetima memorije te različitim fizičkim karakteristikama. Zbog malih dimenzija i prilagodljivosti mogu se primjenjivati u širokom rasponu aplikacija poput podložnih implantata u živim bićima, kreditnih kartica i ključeva za kontrolu pristupa. RFID etikete su predstavljene kao veliki plastični privjesci za sprječavanje krađe odjeće u trgovinama, zaštićeni su nekom vrstom kućišta od udaraca, kemikalije, vlage i prašine.

2. RFID naljepnice su u upotrebi već desetljećima, bar-kod kao tehnologija automatske identifikacije vrlo je raširena. Jednom otisnute bar-kod naljepnice ne mogu više biti promijenjene, a da bi je skener pročitao mora biti u vidnom polju. Nova generacija tzv. pametnih naljepnica opskrbljena je RFID tehnologijom i nadmašuje neka ograničenja tradicionalnog bar-koda.

3. RFID tiskane pločice su namijenjene ugradnji u proizvod ili ambalažu. Važne prednosti su niža cijena te sposobnost da izdrže uvjete okoline koje RFID naljepnice ne bi podnijele.

1.2 Osnovna svojstva transpondera

Određene RFID primjene često definiraju faktore oblika transpondera i zahtijevaju specifične performanse poput dometa, usmjerenosti, osjetljivosti na materijale te radnog frekvencijskog pojasa. Ove performanse često ograničavaju izbor antene s transponderom i postavljaju ograničenja na maksimalni mogući domet antene s transponderom. Tri osnovne karakteristike izvedbe transpondera i metode njihova mjerenja su:

1. Osjetljivost transpondera je karakteristika koja opisuje minimalnu snagu signala na mjestu transpondera koja je potrebna za aktiviranje transpondera, neovisna o snazi koju prenosi čitač ili okolina u kojoj se nalazi.

2. Domet transpondera opisuje najveću udaljenost na kojoj se transponder može očitati. Koristi se kao lako razumljiva, izravno mjerljiva te često korištena karakteristika izvedbe transpondera. Ova karakteristika ne ovisi samo o osjetljivosti transpondera, nego i o parametrima sustava. Maksimalni domet pasivnih RFID sustava ograničen je osjetljivošću transpondera. Međutim, kada je osjetljivost transpondera vrlo visoka, kao u slučaju polupasivnih transpondera, domet postaje ograničen osjetljivošću čitača.

3. Diferencijalni RCS (Radar Cross-Section) transponder je važan parametar koji određuje snagu modularanog signala transpondera prilikom rada u dalekom polju. Vrijednost nam govori u kolikoj mjeri dolazi do gubitka snage poslanog signala u odnosu na primljeni signal.

1.3 RFID čitač

RFID čitač je središnji element RFID sustava i neophodan je za funkcioniranje svakog sustava. Njegov zadatak je komunikacija s transponderom i prijenos podataka do sustava za

daljnju obradu. Sastoji se od antene za razmjenu podataka s transponderom i upravljačkog uređaja koji obrađuje podatke i komunicira s računalom.

RFID čitači se, osim po radnom frekvencijskom području, razlikuju i po složenosti, ovisno o vrsti transpondera s kojima čitač komunicira. Kod jednostavnih RFID sustava čitačeva energija upadnog signala na transponder, pojednostavljeno gledano, ima ulogu sklopke za uključivanje i isključivanje. Kod složenijih sustava radio signal kojeg čitač odašilje može sadržavati naredbe transponderu, instrukcije za čitanje i pisanje memorije pa i lozinki. Složeniji čitači koriste različite protokole, omogućuju odabir podataka, provjeru i ispravljanje grešaka, dok oni jednostavniji omogućuju čitanje samo jedne vrste transpondera primjenjujući samo jednu frekvenciju i samo jedan protokol. Razvijanjem novih tehnika poboljšava se postupak očitavanja što doprinosi boljem i bržem registriranju više transpondera odjednom.



Slika 5. Primjer RFID čitača [5]

2. Antene u RFID sustavima

Potencijalne primjene RFID tehnologije potaknule su razvoj različitih antena za RFID sustave. Ekspanziju primjene RFID tehnologije kroz povijest do danas pratilo je i područje dizajna odgovarajućih antena, od onih komercijalnih, preko profesionalnih i istraživačkih pa do amaterskih. Dizajn RFID antena susreće se s brojnim izazovima, kao što su struktura antene, veličina antene, način rada, širina pojasa, prilagodba impedancije, polarizacija, itd. RFID antene neizostavan su element u RFID sustavu jer predstavljaju bežično sučelje elektroničkog sustava prema prijenosnom mediju u kojemu se rasprostiru elektromagnetski valovi na putu prema

drugom kraju komunikacijskog kanala. Izvedba bilo kojeg bežičnog sustava ovisi o nekoliko karakteristika antene i svojstava propagacijskog kanala koji uključuju:

Antene:

- frekvencijski pojas;
- karakteristike pojačanja (maksimalno pojačanje, izvor zračenja, širina pojasa, itd.);
- polarizacija;
- osjetljivost na objekte različitih svojstava.

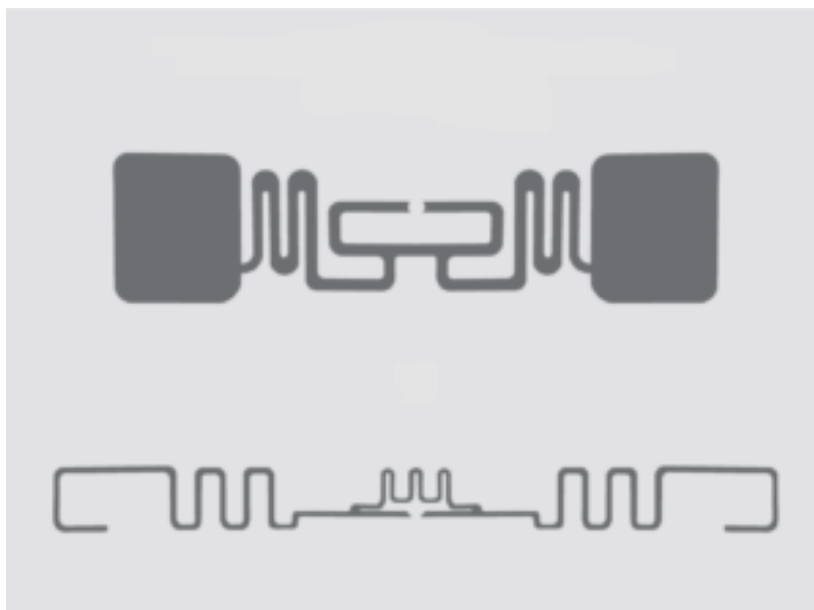
Propagacijski kanal:

- gubitak putanje;
- korelacija prostornog i vremenskog prigušenja.

Usmjerenost antene je jedan od bitnijih parametara u RFID sustavu. Ona nam govori koliko puta više antena zrači u željenom smjeru u odnosu kada zrači u svim smjerovima te je usko povezana s parametrom dobitka antene. Kod RFID sustava važno je da čitač ima usmjerenu energiju elektromagnetskog zračenja prema određenim transponderima. To znači da za veću usmjerenost moramo imati veće dimenzije antene ili antenski niz. Obično je lakše napraviti veliku antenu jer njena veličina nije važna čitaču. Za transpodere, veličina antene je jedan od ograničavajućih parametara prilikom dizajna i odabira transpondera jer pojedine aplikacije ne dopuštaju puno slobodnog prostora u području gdje će se postaviti antena transpondera. S obzirom na svoju namjenu u RFID sustavima, RFID antene se mogu podijeliti u dvije vrste: antene transpondera i antene čitača.

2.1 Antena transpondera

Uloga antene transpondera, osim načelnog komunikacijskog svojstva, ima i ulogu prikupljanja energije dolaznog vala čitača te opskrbe čipa transpondera energijom potrebnom za adekvatan rad. Antena s većom usmjerenosti, odnosno dobitkom, omogućit će prikupljanje veće količine energije potrebne za napajanje čipa transpondera, a samim tim će se produljiti i domet očitavanja što je u većini primjena poželjna karakteristika. Antena transpondera omogućava zaprimanje informacija od strane čitača i odašiljanje povratnih informacija pohranjenih unutar čipa transpondera. Budući da transponder treba biti pričvršćen na identificirani objekt, dimenzije transpondera i antene trebaju biti istih ili sličnih veličina. Veliki izazov prilikom dizajniranja transpondera predstavlja optimizacija antene transpondera i čipa. Najčešće se koriste već gotova i komercijalno dostupna rješenja čipova dok se antene prilagođavaju odabranom čipu i uvjetima aplikacije transpondera.



Slika 6. Primjer antene transpondera [6]

2.2 Antena čitača

Antena čitača prenosi elektromagnetsku energiju za aktiviranje transpondera, slanja upita te ostvarivanje prijenosa podataka. Najvažnija karakteristika RFID antene čitača sa stajališta korisnika je domet očitavanja RFID transpondera. Parametri koji određuju domet očitavanja čitača odnose se na definiranu izlaznu snagu odašiljanja, gubitci radijskog prijenosa, tehnika spajanja (odabrana modulacija, komunikacijski protokol i dr.) kao i karakteristike prijamnih i odašiljačkih antena. Komunikacija između čitača i transpondera ostvaruje se pomoću dva komunikacijska kanala. Izolacija između ta dva kanala ima velik utjecaj na domet čitača odnosno njegovu osjetljivost. Manja izolacija ima veću učestalost pojave „crosstalk“, odnosno prisluškivanja između kanala što negativno utječe na osjetljivost i domet čitanja. Prilikom dizajniranja čitača pozornost se posvećuje odabiru konfiguracije antena koja se svodi na dva glavna oblika: bistabilna i monostabilna konfiguracija. Neki čitači mogu mijenjati konfiguraciju antene kako bi ostvarili što bolje performanse. U bistatičnoj konfiguraciji odašiljačka i prijamna antena su odvojene jedna od druge, a to se postiže fizičkim odvajanjem, obrnutom polarizacijom antena te kombinacijom fizičkog i polarizacijskog odvajanja. Najčešći oblik polarizacije u bistatičnoj konfiguraciji je kružna polarizacija, a najraširenija primjena je kod stacionarnih čitača gdje se ne javlja problem površine koju zauzimaju antene. U monostatičnoj konfiguraciji za odašiljanje i prijem koristi se jedna antena pri čemu se za izolaciju kanala koriste cirkulatori ili usmjereni sprežnici. Obje tehnike daju podjednake rezultate u pogledu

izolacije kanala. Monostatična konfiguracija je najčešće korištena kod mobilnih čitača gdje je veličina antene ograničavajući faktor.

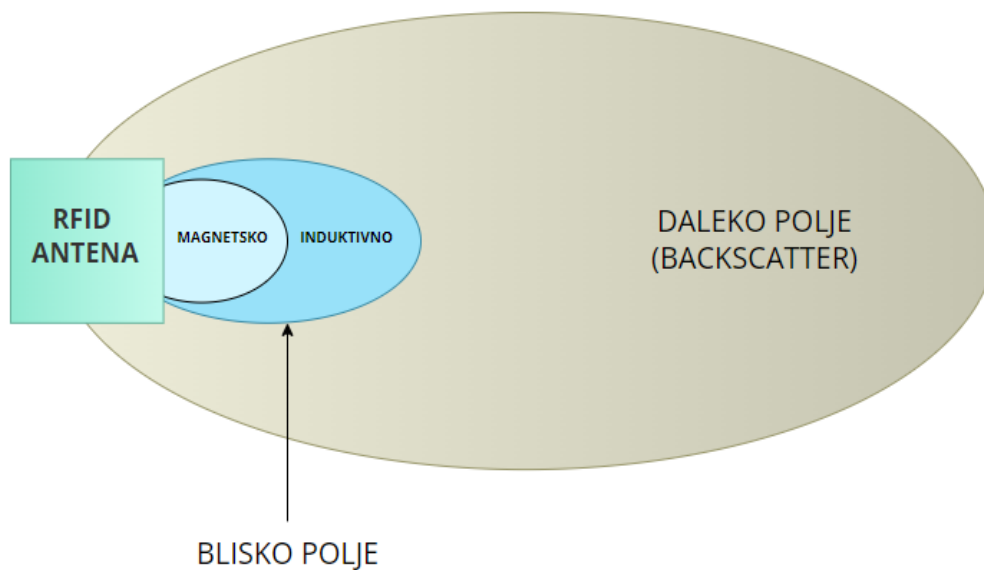
RFID antene čitača bliskog polja (eng. Near Field Reader Antenna, NF) koriste magnetno polje za napajanje transpondera. U području bliskog polja stvara se magnetno polje koje omogućuje anteni RFID čitača da preda energiju transponderu. Osnovni cilj NF je da sustavi rade na kratkim udaljenostima i na različitim objektima, uključujući i spremnike s tekućinom. Jedni od osnovnih pristupa implementaciji NF sustava su:

Prvi pristup obuhvaća korištenje standardnog UHF-RFID sustava s konvencionalnim (daleko polje) antenama za čitanje te očekivanje da bi transponderi, koji mogu raditi u području dalekog polja, trebali dobiti više nego dovoljno energije da se aktiviraju blizu antene čitača unutar područja bliskog polja. Međutim, za aplikacije gdje je potrebna zona čitanja kratkog dometa, ovaj sustav može detektirati neželjene transpondere prisutne u području dalekog polja.

Drugi pristup se sastoji od korištenja istog UHF-RFID sustava, ali s malom izlaznom snagom čitača. Zbog sporog opadanja dalekog polja s udaljenošću neželjeni transponderi mogu se čitati unutar područja dalekog polja smanjujući izlaznu snagu čitaču. Niska izlazna snaga čitača predstavlja prednost koja omogućuje korištenje NF sustava za pružanje odgovarajućih performansi čitanja na objektima do kojih nije lako dospjeti.

Treći pristup opisuje korištenje standardnog UHF-RFID čitača i transpondera kratkog dometa koji reagiraju samo na jaka polja u blizini antene čitača.

RFID antene čitača dalekog polja (eng. Far Field Reader Antenna, FF) koriste backscatter metodu. Backscatter je komunikacijska metoda u kojoj antena šalje energiju transponderu, koja napaja čip. Čip zatim modulira informacije i šalje ih natrag koristeći preostalu energiju. RFID antene čitača dalekog polja mogu komunicirati s pasivnih RFID transponderima do 9 m, a u nekim slučajevima i više od 9 m. [1]



Slika 7. Razlika antene čitača bliskog i dalekog polja [1]

3. Primjer modela antene pasivnog RFID transpondera

Zbog velikog broja područja primjene RFID tehnologije, od kojih svako predstavlja posebne zahtjeve, pasivni RFID transponderi su rasprostranjeni u mnogim područjima iz razloga što pružaju velik domet čitanja, niske cijene, male dimenzije te ne posjeduju baterije. Štoviše, protokoli višestrukog pristupa dijeljenom mediju implementirani su u pasivne RFID transpondere i omogućuju čitanje više transpondera istovremeno s većih udaljenosti.

Trenutno tržište nudi razne transpondere optimizirane za postavljanje na staklo, odjevne predmete ili druge supstrate uporabnih predmeta. Danas su dostupni posebni transponderi dizajnirani za postavljanje na metalne površine ili za pričvršćivanje na predmete koji sadrže metalne dijelove. Međutim, važan dio stvarnog tržišta je transponder opće namjene. To je isplativi transponder, koji umjesto da bude optimiziran za određenu aplikaciju, izveden za rad u velikom broju aplikacija. Zbog svojih univerzalnih karakteristika, transponderi opće namjene masovno se koriste u sustavima evidentiranja i prikupljanja podataka označenih predmeta. S druge strane, značajniji nedostatak transpondera opće namjene mogao bi biti u smanjenim performansama pojedinih sustava koje bi potom utjecale na rad u nekim specifičnim uvjetima, poput interakcije s metalnim površinama i sl. Transponderi koji se trenutno koriste u pasivnim RFID sustavima najčešće se sastoje od antene i čipa asinkronog kruga (ASIC – Asynchronous integrated circuit chip) prilagođenog za određenu namjenu. Razne tehnologije za izradu

digitalnih i analognih mikroelektroničkih sklopova u posljednjih nekoliko godina omogućile su dobivanje sićušnih transpondera, postupno smanjujući njihovu potrošnju energije ali i cijenu.

3.1 Parametri antene pasivnog RFID transpondera

Učinkovitost zračenja antene je jedan od temeljnih parametara u izradi pasivne antene transpondera. To je omjer između snage koju zrači antena i snage koju antena prima, što uključuje omske gubitke unutar antenskih vodiča i izolatora. U mnogim slučajevima postizanje visoke učinkovitosti zračenja nije problem, no potpuno je drugačije kada se radi s vrlo malim transponderima ili kad su transponderi pričvršćeni na predmete izrađene od materijala s visokim gubitcima. Izvor zračenja je vrlo važan čimbenik za izradu transpondera, budući da opisuje kako je antena transpondera u stanju prikupiti ili zračiti energiju iz različitih smjerova.

Kvaliteta komunikacijske veze između čitača i transpondera također ovisi o polarizaciji antene transpondera. Kako bi se postiglo učinkovito spajanje između dvije antene, njihova polarizacija mora biti usklađena. Međutim, neusklađenost polarizacije ovisi o relativnoj orijentaciji između antena, što u većini slučajeva unaprijed nije poznato. Općenito, antene transpondera imaju jednu linearnu polarizaciju kako bi zadovoljile zahtjeve minimalnih dimenzija transpondera, ali ujedno i cijenu. Stoga je zadatak upravljanja neusklađenošću polarizacije predstavljen na teret čitaču, koji je po svojoj prirodi složeniji te skuplji. Klasičan pristup je da se anteni čitača osigura kružna polarizacija. Kao nedostatak, udaljenost čitanja je smanjena jer transponder prima samo polovicu dolazne energije koja je raspoređena u dvije ortogonalne osi polarizacije. Kako bi se smanjila osjetljivost na orijentaciju uz zadržavanje nepromijenjenog potencijalnog dometa čitanja, koristi se aktivno elektroničko upravljanje polarizacijom. Ona omogućava da se čitač kontinuirano prebacuje između dvije linearne ortogonalne polarizacije, tako da se sva snaga prima kada je transponder pravilno poravnat. Međutim, ovo rješenje zahtjeva dodatne sklopove u čitaču, povećava složenost i cijenu.

S obzirom na prijenos snage ASIC-om, ulazna impedancija antene ima važnu ulogu u izradi pasivne antene. Impedancija ASIC-a je kapacitivna tako da je za konjugirano podudaranje potrebno induktivno ponašanje opterećenja. Antena zahtjeva odgovarajuće prilagodbe kako bi se omogućilo izravno spajanje na transponder, tako da se uvodi mreža za prilagodbu impedancije kako bi se poboljšao prijenos energije. Ipak, kada je impedancija antene posebno različita od tražene vrijednosti, usklađivanje može biti teško čak i korištenjem namjenske prilagodne mreže. Kombinacija frekvencije ulazne impedancije antene strogo je

povezana sa širinom antenskog pojasa. U pasivnim transponderima, širi pojas ima niz prednosti u odnosu na uski pojas.

Za većinu aplikacija, najvažniji pokazatelj izvedbe transpondera je domet čitanja. Domet čitanja je najveća udaljenost između antene transpondera i antene čitača, koja omogućava uspješno čitanje sadržaja transpondera. Obično je osjetljivost čitača mnogo manja od osjetljivosti transpondera, tako da je ograničavajući čimbenik izvedba transpondera, odnosno hoće li transponder prikupiti dovoljno energije za aktiviranje. Kao što je već spomenuto, domet čitanja pasivnog transpondera ne ovisi samo o karakteristikama samog transpondera. Njegova orijentacija, materijali na koje je transponder pričvršćen, prisutnost prepreka prema čitaču, obližnjim objektima, pa čak i obližnjim transponderima mogu smanjiti domet čitanja. Iz tih razloga domet čitanja se mjeri u optimalnim uvjetima koji se mogu dobiti u kontroliranom okruženju. Jednostavan izraz za domet efektivnog očitavanja (RR) može se pronaći na temelju Frissove jednadžbe prijenosa:

$$RR = \frac{\lambda_0}{4\pi} \sqrt{\frac{EIRP \cdot G_0 \cdot \tau}{P_{th}}} \quad (1)$$

gdje je λ_0 valna duljina slobodnog prostora na radnoj frekvenciji, $EIRP$ je ekvivalentna izotropno zračena snaga iz čitača, G_0 je maksimalno pojačanje antene transpondera, τ je koeficijent prijenosa snage između antene transpondera i ASIC-a, P_{th} je prag snage RFID transpondera. On predstavlja funkciju kuta iznosa minimalne snage potrebne za pravilan rad transpondera na određenoj udaljenosti prilikom izračuna nominalnog uzorka zračenja transpondera. Iz Frissove jednadžbe (1) se može zaključiti da je teoretski domet očitavanja transpondera određen karakteristikama antene (G_0, τ) i ASIC-a (P_{th}), ali također ovisi i o regionalnim propisima. [4]

3.2 Primjeri antene pasivnog RFID transpondera

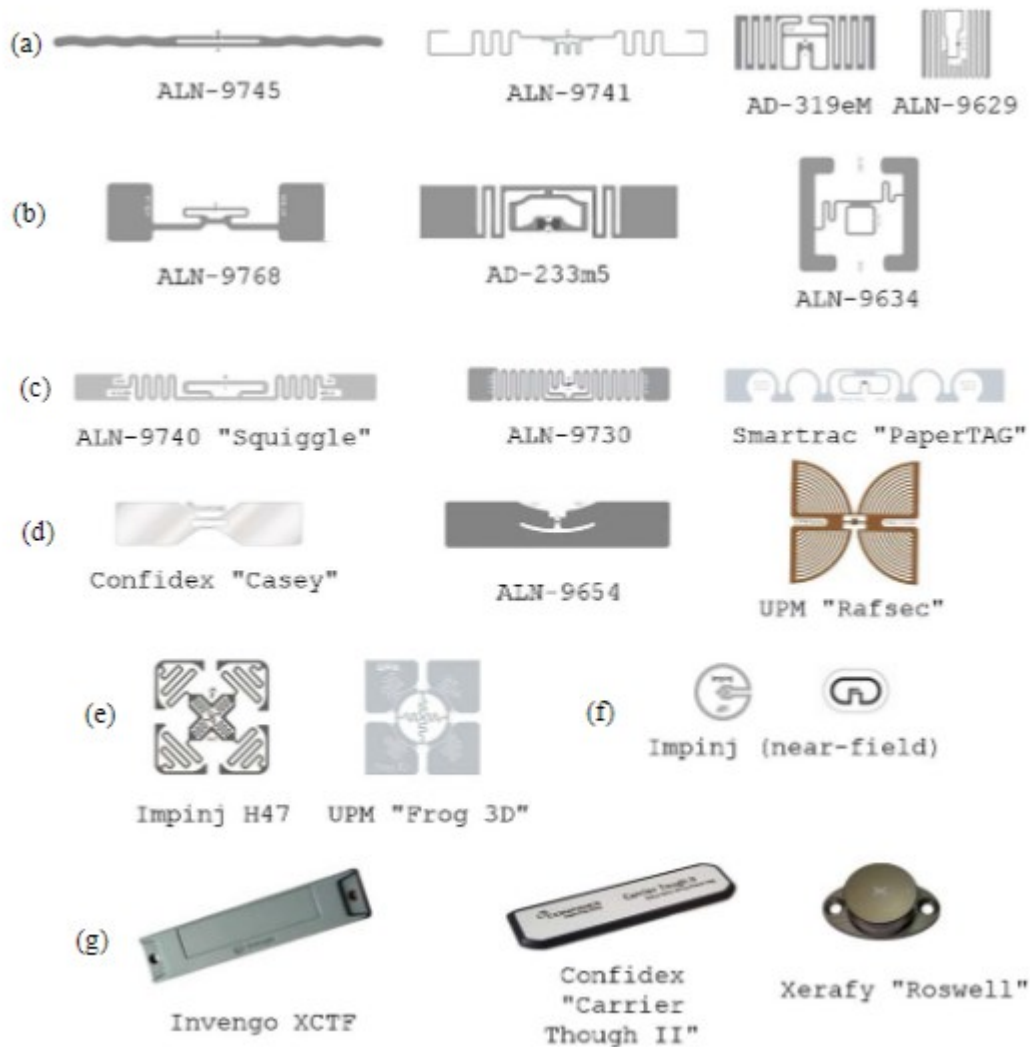
Većina RFID transpondera temelji se na dipolnim antenama. Dipolne antene su jednostavne, učinkovite i svestrane. Njihove dimenzije se mogu prilagoditi čak i relativno malim predmetima. Obično se koriste tehnike smanjenja veličine za dobivanje manjih verzija dipolnih antena, jedna od tehnika je meandriranje. Meandriranje uključuje presavijanje tijela za određeni broj puta te smanjenje bočnih dimenzija uz zadržavanje ukupne duljine. Prilikom projektiranja dipolne antene, meandriranje se može primijeniti do određenog stupnja, tako da

se veličina transpondera može podesiti prema ograničenjima primjene. Na slici 8. a) su prikazani primjeri pasivnih transpondera s povećanim stupnjem meandriranja, s lijeva na desno. Dok su konačne dimenzije većine transpondera opće namjene koje koriste meandriranje u rasponu od 7-10 cm, snažno meandriranje omogućuje dobivanje transpondera čija je veličina smanjena na nekoliko centimetara. Još jedna vrlo česta metoda koja se primjenjuje na transponder antene, često kombinirana s meandriranjem je kapacitivno opterećenje vrha. U ovom slučaju, završni dio svakog kraka je značajno proširen kako bi se povećao kapacitet antene, a time i smanjila rezonantna frekvencija. To omogućuje dobivanje kraćih antena koje je još uvijek lako uskladiti s ASIC-om za pravilan prijenos energije. Transponderi prikazani na slici 8 b) primjeri su izrade koji naglašava opterećenje vrha, dok transponderi predstavljeni na slici 8 c) pokazuju kompromis između meandriranja i opterećenja vrha.

U odnosu na standardne izvedbe dipola, dodatnim tehnološkim izvedbenim varijacijama postiže se povećanje širine pojasa antene. Jedan od takvih komercijalno prihvaćenih i raširenih primjera primjene širokopojasnih dipola (tzv. fat dipole) prikazani su slikom 8 d). Naime, povećanjem širine krakova dipolne antene povećava se kapacitet antene uz smanjenje induktivnosti, što za posljedicu ima smanjen faktor dobrote, tj. širi frekvencijski pojas u odnosu na standardne izvedbe dipolnih elemenata istih proporcija.

Orijentacija transpondera obično nije prethodno poznata te iz tog razloga može doći do grešaka u čitanju relativno blizu transpondera. Najčešće rješenje ovog problema je da se transponderu osiguraju dvije ortogonalne dipolne antene. Primjer takvih transpondera je prikazan na slici 8 e).

Iako je dipolna antena najčešće korištena u izradi pasivne antene transpondera, postoje i neka alternativna rješenja. Kada se zahtjeva da dimenzije transpondera budu izrazito male, koristit će se okvirna antena. Ona je mnogo manja od valne duljine na radnoj frekvenciji te se ponaša kao strujna petlja stvarajući napon na ASIC-u. Na slici 8 f) prikazani su transponderi temeljeni na petljama poput okvirne antene. Primjeri metalnih transpondera koji se temelje na mikrotrakastim antenama (eng. Patch antenna, Microstrip Antenna), prikazani su na slici 8 g).



Slika 8. Primjeri pasivnih RFID transpondera [4]

3.3 Antene pasivnih RFID transpondera na metalu

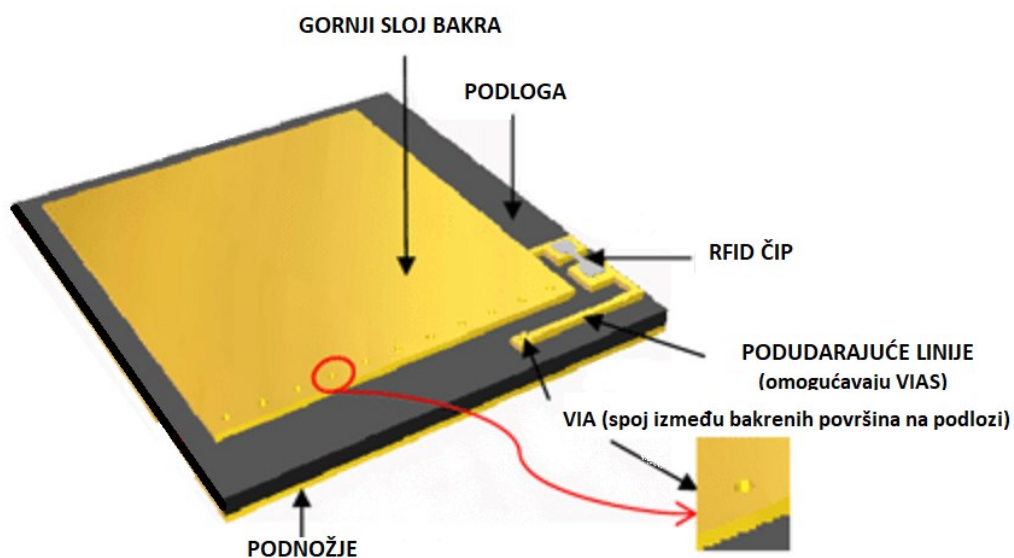
Od pojave tehnologije pasivnih RFID transpondera, veliki istraživački naponi bili su posvećeni pronalaženju pristupačnih rješenja za problem pričvršćivanja na predmete metalnih površina. Ako je metalna površina blizu antene, antena transpondera će loše raditi. Performanse pasivnih RFID transpondera opće namjene ozbiljno se pogoršavaju kada su pričvršćene na metalne površine.

Količina izazova povezanih s razvojem RFID transpondera na metalu može varirati ovisno o scenariju primjene takvog transpondera. Na primjer, aplikacije povezane s industrijskim okruženjima, kao što su željeznice, nafta i plin, montažne linije, ali i komercijalne

aplikacije kao što su kontrola pristupa i identifikacija vozila možda neće zahtijevati da transponder bude tanak, malen, jeftin ili fleksibilan.

Uobičajene izvedbe transpondera na metalu oslanjaju se na primjenu korištenja mikrotrakastih antena (eng. Patch antenna, Microstrip Antenna. Za razliku od električnih dipola, čije se zračenje poništava kada se pričvrste vodljive površine, supstrat ima koristi od refleksije polja na metalnoj ravnini, što rezultira značajnim povećanjem usmjerenosti. Visina supstrata može se smanjiti na milimetar ili manje, kao što trenutno rade mnogi komercijalni transponderi. Izazovan aspekt izrade pasivnih transpondera na metalu, koji još uvijek predstavlja značajno ograničenje u odnosu na transpondere opće namjene, povezan je s debljinom transpondera. Izrada antene temelji se na dva simetrična supstrata koji se napajaju pomoću čipa. Iako mogu biti prikladni za mnoge primjene, rješenja temeljena na antenama tipa patch uključuju veće troškove proizvodnje i složenost u odnosu na transpondere opće namjene, zbog prisutnosti dva ili više sloja vodiča s međusobnim vezama.

Drugi dizajni, također usmjereni na minimiziranje složenosti transpondera, usmjereni su na smanjenje bočnih dimenzija. U tu svrhu korištene su keramičke podloge za dobivanje iznimno malih transpondera na osnovu dipolnih antena.



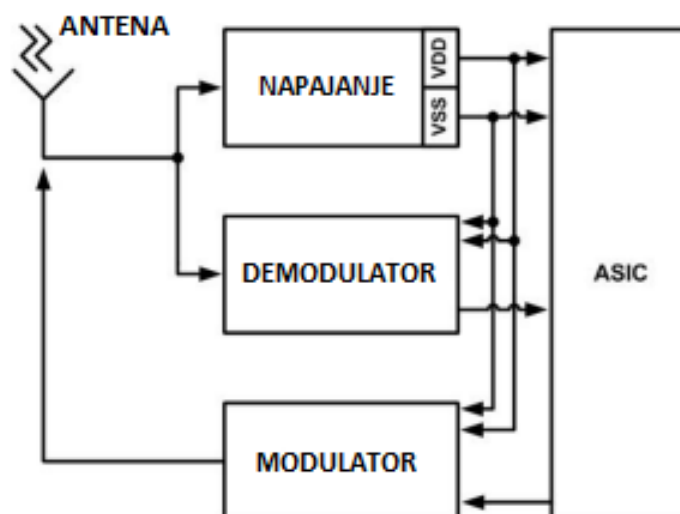
Slika 9. Primjer dizajna RFID transpondera namijenjenog za metalnu podlogu [8]

Na slici 9. je prikaz jednog primjera od modernih dizajna RFID transpondera namijenjenih za montažu na metalnu podlogu. Podloga je načinjena od specijalnog izolacijskog premaza na kojem je zalijepljena bakrena folija. Gornji sloj bakra čini antenu transpondera, dok

se RFID čip nalazi na samoj podlozi sa svim potrebnim vezama. Ovim načinom je osiguran transponder sa svim potrebnim komponentama u jednom cjelovitom pakovanju.

4. Arhitektura pasivnih RFID transpondera

Pasivni RFID transponderi čine velik dio današnjeg tržišta jer ne zahtijevaju baterije, a energiju crpe iz čitača koji emitira radio frekvencijski signal. Kako bi imali veći radni raspon udaljenosti od čitača, minimiziranje potrošnje energije iznimno je važno pri projektiranju svih aspekata pasivnog transpondera. Slika 10. predstavlja osnovnu arhitekturu pasivnih RFID transpondera. Arhitektura je podijeljena u nekoliko blokova, a određene fizičke komponente odabiru se ovisno o drugim komponentama unutar blokova i namjeni transpondera. Blok napajanja pomoću elektromagnetskog polja čitača napaja sve komponente transpondera (priključnice Vss i Vdd). Blokovi modulator i demodulator predstavljaju mjesta gdje se odvija komunikacija. Blok ASIC predstavlja integrirani krug i prateće komponente koje se odabiru ovisno o primjeni transpondera. U dizajnu pasivnih RFID transpondera, shema modulacije igra glavnu ulogu u određivanju dimenzija i potrošnje energije pasivnih RFID transpondera. Veličina kondenzatora, koji je ukomponiran u antenu, ima važnu ulogu u određivanju dimenzija transpondera, dok blokovi demodulatora i modulatora predstavljaju najveće potrošače unutar transpondera.



Slika 10. Osnovna arhitektura pasivnih RFID transpondera [9]

4.1 Stupanj napajanja

Blok napajanja predstavlja sklop za prikupljanje energije. Glavna zadaća mu je napajanje svih komponenti transpondera. Kao izvor električne energije koristi se elektromagnetsko polje čitača koje se na priključnicama antene transpondera manifestira kao napon. Osim antene blok napajanja se sastoji još od punovalnog ispravljača s dvije naponske razine koji pretvara napon s antene u istosmjernan. Jedna naponska razina je pogodna za napajanje blokova modulatora i demodulatora, dok je druga naponska razina potrebna za ASIC blok. Unutar bloka napajanja također se nalaze i zaštitni krugovi koji osiguravaju adekvatan napon izvora za rad ostalih blokova, te ovisno o primjeni i krugova koji štite od prenapona.

4.2 Stupanj modulatora i demodulatora

Blokovi modulator i demodulator imaju zadaću ostvariti komunikaciju između čitača i transpondera. Demodulator dekodira podatke zaprimljene na anteni transpondera od strane čitača te ih šalje na daljnju obradu u ASIC blok. Modulator ima obrnutu funkciju od demodulatora. Podaci koje blok ASIC želi poslati čitaču modulira i šalje odgovor čitaču. Postoji više potencijalnih odgovarajućih tipova modulacije, svaki sa svojim prednostima i nedostacima, a najpopularniji su:

OOK (eng. On-Off Keying) modulacija je vrsta modula gdje su logičke jedinice reprezentirane kao neka naponska vrijednost, dok je logička nula beznaponsko stanje. Time se postiže mala potrošnja električne energije, ali pojavljuje se i problem u tome što je potrebna antena s visokim kapacitetom i veličinom kako bi se održalo napajanje transpondera tijekom prijenosa „logičkih nula“.

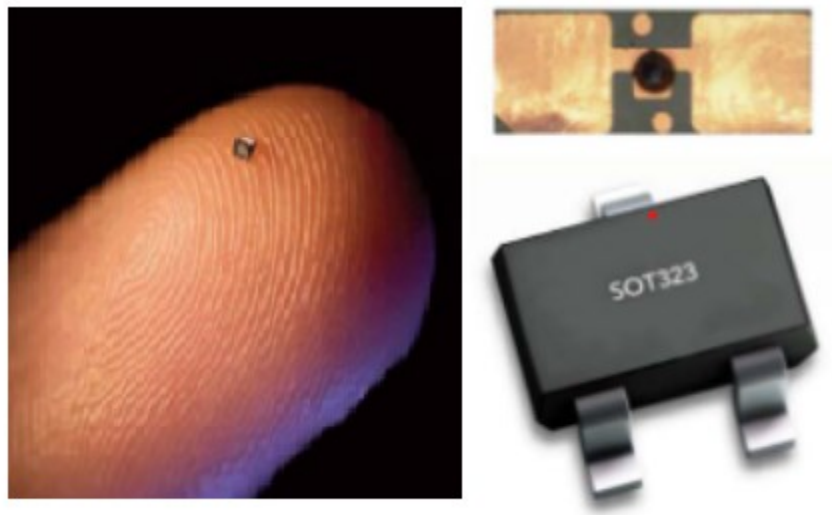
ASK (eng. Amplitude-Shift Keying) modulacija ima dvije naponske razine koje predstavljaju logičke 0 i 1. Takvim načinom se izbjegava problem nestanka napajanja transpondera tijekom zaprimanja upita od strane čitača, ali i problem cijene potrošnje energije unutar transpondera te smanjenja najvećeg dometa ostvarive komunikacije.

PWM (Pulse-Width Modulation) modulacija donosi rješenja na nedostatke koje donose prije navedeni oblici modulacija, unošenjem kratkog razdoblja bez prenošenja podataka te utjecaj na rad napajanja.

PSK (Phase-Shift Keying) i FSK (Frequency-Shift Keying) su veoma slični ASK modulaciji, jedina razlika je u tome što za prijenos podataka moduliraju fazu odnosno frekvenciju elektromagnetskog polja.

4.3 ASIC

Blok ASIC predstavlja integrirani krug i ostale komponente koje su specifične za određenu primjenu. Integrirani krug upravlja s blokovima modulatora i demodulatora odnosno komunikacijom s čitačem. Blok ASIC sadrži komunikacijske protokole i podatke koje treba poslati čitaču. Osjetljivost čitanja RFID ASIC-a definirana je kao minimalna snaga koja se mora isporučiti ASIC-u kako bi se donio uspješan odgovor na zahtjev za čitanje podataka. Jedan od bitnijih parametara ASIC-a jest impedancija samog kruga. Odnos i usklađenost impedancije antene i ASIC-a imaju veliki utjecaj na performanse transpondera, počevši od njegovog najvećeg dometa pa do ponašanja transpondera u blizini čitača. Većina transpondera je ugrađena za rad na većim udaljenostima od čitača, gdje je snaga polja znatno manja nego u neposrednoj blizini te iz tog razloga neki transponderi mogu izgubiti svoju funkcionalnost u blizini čitača. Postoji nekoliko rješenja za pakiranje RFID ASIC-a, od kojih je svako optimizirano za određeni proces ugradnje na završni transponder. Kada se transponder proizvodi kao naljepnica, neupakirani čip se izravno pričvršćuje na antenu. Ovo rješenje zahtjeva veliko početno ulaganje te se zbog toga nude alternativna rješenja, koja se sastoje od montiranja ASIC-a na remen i na određene ploče.



Slika 11. Primjer ASIC-a u različitim pakiranjima [4]

5. Zaključak

Nakon više od pedeset godina nakon svoje pojave, RFID tehnologija postaje sve više korištena u različitim područjima primjena te sukladno razvoju omogućuje poboljšanje i stvaranje boljih proizvoda i uređaja. Korisnik je može koristiti bez razumijevanja kako funkcionira ili koje su njene moguće komplikacije. Na prvi pogled, koncept RFID-a i njegova primjena djeluje jednostavno, no u stvarnosti nije tako. Ključ daljnjeg razvoja i implementacije RFID tehnologije je napredak antena unutar RFID sustava, s naglaskom na antenu transpondera koja donosi najveća ograničenja sustava u primjeni. Antene su bitan dio sustava jer bez njih nema bežične komunikacije koja je osnova RFID sustava. Za antene pasivnog RFID transpondera preferira se omnidirekcionalnost kako bi se osigurala identifikacija iz svih smjerova. Svojstva antene transpondera bi trebala zadovoljavati parametre niske cijene, male veličine, dobre usklađenosti impedancije i neosjetljivosti na objekte poput metalnih površina.

Danas su sve više popularniji sustavi gdje su transponderi integrirani u različite kartice poput sustava beskontaktnog plaćanja, evidencije radnih sati i kontrole prolaska. S daljnjim razvojem tehnologije, očekuje se smanjenje trenutnih ograničenja što će konačno utjecati na povećanje rasprostranjenosti primjene same RFID tehnologije.

Popis literature

- [1] AtlasRFIDstore, UK, 2022. Dostupno na: https://www.atlasrfidstore.com/9-tactics-for-choosing-an-rfid-antenna/?utm_source=RFID-Beginners-Guide&utm_medium=eBook&utm_campaign=Content&utm_content=antenna-guide
- [2] K. Finkensteller, *RFID Handbook, Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards, Radio Frequency Identification and Near-Field Communication*, 2010. ("EnGarde | Proceeding of the 11th annual international conference on ...")
- [3] M. Bolic, D. Simplot-Ryl, I. Stojmenovic, *RFID systems research trends and challenges*, John Wiley & Sons, 2010. ("RFID Systems: Research Trends and Challenges - University of Ottawa")
- [4] S. Zuffanelli, *Antenna Design Solutions for Radio Frequency Identification (RFID) Tags, based on Metamaterial-inspired Resonators and other Resonant Structures*, Bellaterra (Cerdanyola del Valles), July 2015.
- [5] https://www.zebra.com/us/en/products/rfid/rfid-handhelds.html#mainpar-productseries_b20f_c
- [6] S.Kahng, *Design Fundamentals and Advanced Techniques of RFID Antennas*, South Korea, 2009.
- [7] [K.V.S. Rao, S. Member, IEEE, P.V. Nikitin, S.F. Lam, *Antenna Design for UHF RFID Tags: A Review and a Practical Application*, 2005.](#) ("UHF RFID Printed Dipole Antenna with CPS Matching and Inductively ...")
- [8] https://www.researchgate.net/figure/RFID-tag-as-an-antenna-sensor_fig1_258715033
- [9] I. Abdo, M. Odeh, F. R. Shahroury, A new modulation scheme for low power consumption and small RFID tags, December 2013, Amman, Jordan.
- [10] G. Gonzalez, *Radio Frequency Identification (RFID) Tags and Reader Antennas Based on Conjugate Matching and Metamaterial Concepts*, July 2013, Bellaterra (Cerdanyola del Valles).
- [11] CARNet CERT, "RFID identifikacija", CCERT-PUBDOC-2007-01-179, nacionalno središte za sigurnost računalnih mreža i sustava, 2007. Dostupno na: <https://www.cis.hr/www.edicija/LinkedDocuments/CCERT-PUBDOC-2007-01-179.pdf>
- [12] E. Zentner, *Antene i radiosustavi*, Zagreb:Graphis, 2001.

- [13] ANALOG IC TIPS, A. Kalnoskas, A. Pandey, "RFID Tag and Reader Antennas", 2017.
Dostupno na: <https://www.analogictips.com/rfid-tag-and-reader-antennas/>
- [14] J. Siden, H.E. Nilsson, *RFID Antennas – Possibilities and Limitations*, 2010, Sweden.
- [15] L.Ukkonen, L. Sydanheimo, Thresgild Power-based Radiation Pattern Measurement of Passive UHF RFID Tags, 2010, Finland.

Popis slika

Slika 1. Prikaz glavnih komponenti RFID sustava [2].....	2
Slika 2. Primjeri izvedbi RFID transpondera [3]	3
Slika 3. Primjeri RFID transpondera (pasivni, polupasivni i aktivni) [4]	4
Slika 4. Primjeri RFID transpondera (LF transponder, HF transponder, UHF transponder, mikrovalni aktivni transponder) [4]	6
Slika 5. Primjer RFID čitača [5].....	8
Slika 6. Primjer antene transpondera [6]	10
Slika 7. Razlika antene čitača bliskog i dalekog polja [1]	12
Slika 8. Primjeri pasivnih RFID transpondera [4].....	16
Slika 9. Primjer dizajna RFID transpondera namijenjenog za metalnu podlogu [8]	17
Slika 10. Osnovna arhitektura pasivnih RFID transpondera [9]	18
Slika 11. Primjer ASIC-a u različitim pakiranjima [4]	20

OBRAZAC 5**IZJAVA O AUTORSTVU**

Ja, Morika Kraljević

izjavljujem da sam autor/ica završnog/diplomskog rada pod nazivom

Antene pasivnih transpondera RFID sustava

Svojim vlastoručnim potpisom jamčim sljedeće:

- da je predani završni/diplomski rad isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu, a što pokazuju korištene bilješke i bibliografija,
- da su radovi i mišljenja drugih autora/ica, koje sam u svom radu koristio/la, jasno navedeni i označeni u tekstu te u popisu literature,
- da sam u radu poštivao/la pravila znanstvenog i akademskog rada.

Potpis studenta/ice

Morika Kraljević



Veleučilište u Virovitici

OBRAZAC 6

**ODOBRENJE ZA POHRANU I OBJAVU
ZAVRŠNOG/DIPLOMSKOG RADA**

Ja Monika Krajević

dajem odobrenje za objavljivanje mog autorskog završnog/diplomskog rada u javno dostupnom digitalnom repozitoriju Veleučilišta u Virovitici te u javnoj internetskoj bazi završnih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice bez vremenskog ograničenja i novčane nadoknade, a u skladu s odredbama članka 83. stavka 11. Zakona o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju (NN 123/03, 198/03, 105/04, 174/04, 02/07, 46/07, 45/09, 63/11, 94/13, 139/13, 101/14, 60/15, 131/17).

Potvrđujem da je za pohranu dostavljena završna verzija obranjenog i dovršenog završnog/diplomskog rada. Ovom izjavom, kao autor navedenog rada dajem odobrenje i da se moj rad, bez naknade, trajno javno objavi i besplatno učini dostupnim:

- a) široj javnosti
- b) studentima i djelatnicima ustanove
- c) široj javnosti, ali nakon proteka 6 / 12 / 24 mjeseci (zaokružite odgovarajući broj mjeseci).

Potpis studenta/ice

Monika Krajević

U Virovitici, 06.09.2022.

**U slučaju potrebe dodatnog ograničavanja pristupa Vašem završnom/diplomskom radu, podnosi se pisani obrazloženi zahtjev.*