

DEKODIRANJE SIGNALOV V INTEGRIRANIH VEZJIH ZA RFID

Slavko Starašinič

IDS, Tehnološki park, Ljubljana, Slovenija

Ključne besede: RFID, izpraševalnik, kartica, dekode

Izveček: predstavljen je pregled dekodejev, uporabljenih v integriranih vezjih pri radijski frekvenčni identifikaciji (RFID) na HF (13.56 MHz) kakor tudi na UHF (860 MHz – 960 MHz) frekvenčnem področju. Pri istem standardu se za prenos podatkov med kartico (tag, transponder, target) in izpraševalnikom (reader, interrogator, initiator) ter v obratni smeri uporabljajo različni načini kodiranja. V prispevku je opis nekaterih dekodejev, ki se uporabljajo v integriranih vezjih za kartice in izpraševalnike. Predstavljeni so načini kodiranja za različne standarde in nekateri osnovni principi dekodiranja signalov.

Signal Decoding in RFID ASICs

Key words: RFID, interrogator, reader, initiator, transponder, tag, target, decoder

Abstract: Review of decoders used for RFID is presented in this article. Described are methods how to decode signals which takes into consideration different ISO protocols on RF (13.56 MHz) and UHF (860 MHz – 960 MHz) frequency ranges. Data coding from transponder (tag, target) to interrogator (reader, initiator) and from interrogator to transponder is usually different and described decoders are implemented on ASICs for transponders and interrogators. Different ISO protocols enables many coding methods and basic principles from this article can be used for decoding of these signals.

1. Uvod

Radiofrekvenčna identifikacija (RFID) sestoji iz izpraševalnika in kartice, pri čemer sta izpraševalnik in kartica kompleksna integrirana sistema na čipu (SoC). Tovrstni integrirani sistemi so običajno mešana analogno-digitalna vezja ASIC, ki vsebujejo vrsto analognih sklopov, kot na primer /1/, /2/, /3/, /4/ in /5/ ter kompleksen digitalni kontrolni sistem na čipu, kamor štejemo tudi kodiranje in dekodiranje signalov. Kodiranje signalov pri RFID tehnologijah je v večini primerov določeno z mednarodnimi standardi. Na ta način je zagotovljena kompatibilnost med RFID karticami in RFID izpraševalniki, ki jih proizvajajo različni svetovni proizvajalci. Ob upoštevanju zgoraj omenjenih standardov v podjetju IDS d.o.o. načrtujemo RFID integrirana vezja za kartice in izpraševalnike /6/, /7/, /8/. S tem pristopom zagotavljamo, da so naši produkti kompatibilni z različnimi svetovnimi proizvajalci, ki standarde v celoti upoštevajo. V ogromni paleti ponudnikov integriranih vezij imajo nekatera vezja vgrajene kakšne specifične lastnosti, ki v posameznih aplikacijah olajšajo komunikacijo med karticami in izpraševalniki. Kadar je to ekonomsko upravičeno, tudi mi vgrajujemo takšne funkcije v naša integrirana vezja in s tem omogočimo proizvajalcem naprav, da z našimi integriranimi vezji sprogramirajo željene specifične lastnosti kartice ali izpraševalnika.

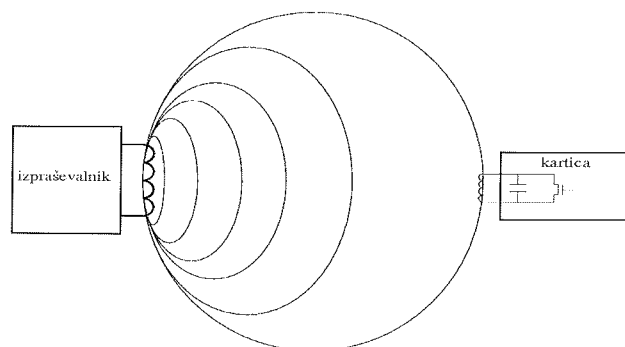
Signali, ki se uporabljajo pri kodiranju signalov v RFID komunikacijah, so večinoma iz naslednjih delov:

- pilotski ton
- preambula ali SOF (start of frame)
- podatki
- konec podatkov ali EOF (end of frame)

Pilotski ton se uporablja za sinhronizacijo vhodnega signala z referenčnim signalom. Le-ta omogoča delovanje dekodeja ob mirujočem vhodnem signalu in tudi takrat, ko so prisotne motnje. Po sinhronizaciji običajno sledi preambula za nastavitev začetka sprejemanja podatkov. V dekodeju se podatki dekodirajo in se v serijski obliki s pripadajočim urinim signalom pošiljajo v vezje, ki jih zloži v osembitne besede ter posreduje v ustrezne registre, kjer so na voljo kontrolerju. Le-ta upravlja s podatki in jih posreduje na ustrezna mesta. Na koncu podatkov je običajno dodana zaključna sekvenca. Takrat se niz podatkov zaključi in dekodej sporoči kontrolerju, da je dekodiranje sprejetih signalov končano. V primeru uspešnega sprejema je pri nekaterih standardih izvedeno še izračunavanje CRC (cyclic redundancy check) vrednosti in/ali paritete.

2. Osnove prenosa podatkov pri RFID

Ko se pojavi kartica v elektromagnetnem polju, ki ga povzroča antena izpraševalnika, se v njenem antenskem navitju inducira napetost. To napetost kartica usmeri in uporabi



Slika 1: Osnovni princip RFID.

za lastno napajanje, prav tako pa iz nosilne frekvence ekstrahirajo svoj lasten urin signal, ki je nato osnova za frekvenčno podnosilca. S tem podnosilcem so nato kodirani podatki in s tem kodiranim signalom moduliramo induktivni sklop med kartico in izpraševalnikom, le-ta pa detektira modulacijo na svojem nihajnem krogu.

Nosilna frekvenca v večini opisanih standardov je 13.56 MHz, frekvenca podnosilca pa je nekajkrat nižja in sinhrona z nosilno frekvenco in je odvisna od hitrosti prenosa podatkov v različnih standardih. Na UHF področju (860 MHz do 960 MHz) pa so pogoji nekoliko drugačni. Komunikacija poteka podobno po veljavnem standardu. Razlika je v tem, da urin signal na kartici ni ekstrahiran, pač pa ima vsaka kartica lasten oscilator, ki deluje v določenih tolerancah. Izpraševalnik pošlje kartici nastavitvene podatke, ki omogočajo uspešno komunikacijo, čeprav ni sinhronosti med nosilno frekvenco in podnosilcem. Znatne tolerance za frekvenco podnosilca in s tem povezane dolžine modulačijskih signalov so razlog za mnogo zahtevnejše načrtovanje dekodejev za UHF kartice in izpraševalnike.

3. Dekoderji za različne standarde

3.1. NRZ decoder

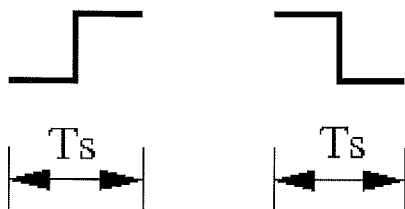
Kot najenostavnejša modulacija pri prenosu podatkov iz izpraševalnika do kartice se uporablja NRZ (non return to zero) kodiranje. V standardu 14443 tip B /9/ imamo enko takrat, kadar nosilec ni moduliran, ničlo pa, kadar imamo 10% modulacijo. V tem primeru startna sekvenca nastavi fazo takta za sprejem podatkov in demoduliran signal nam ob pravem taktu predstavlja logične ničle in enke.



Slika 2: NRZ moduliran signal.

3.2. Manchester decoder (FELICA, NFC)

Zelo razširjen način za prenos logičnih simbolov je uporaba Manchester kode. Logična simbola sta definirana tako, da sprememba logičnega stanja v sredini časovnega okna iz ničle v enko oziroma iz enke v ničlo pomeni logični simbol.



Slika 3: Osnovna simbola v Manchester kodi.

Standarda FELICA /10/ in NFC (near field communication) /11/ uporabljata tovrstno kodiranje na HF področju. Dekodiranje teh signalov poteka tako, da začetni pilotski ton sinhronizira fazo takta pri dekodežu in s tem nastavi okno za določitev vrednosti logičnega simbola.

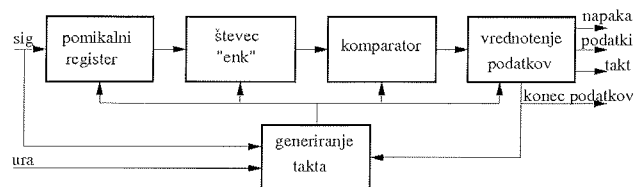
3.3. Dekoder za modificirane Manchester simbole

Izpraševalniki uporabljajo to vrsto simbolov, ko sprejemajo signal iz kartice po standardu ISO 15693 /12/, ISO 14443A /9/ ali EPC /13/ (electronic product code).



Slika 4: Modificiran Manchester simbol za logično ničlo in logično enko.

Tem standardom je skupno, da je logična ničla sestavljena iz določenega števila impulzov in prav toliko časa trajajočo pavzo, ki se na RF signalu manifestira kot nemoduliran signal. Pri logični enki pavzi sledijo impulzi, ki modulirajo RF signal. Število impulzov in njihova dolžina je za prej omenjene standarde različna in znaša od 2 do 32 impulzov. Najbolj razširjena je komunikacija, kjer sta logična signala definirana z osmimi impulzi. Večje število impulzov pri določitvi logične enke oziroma ničle se uporablja v okoljih, kjer so večje radiofrekvenčne motnje in kjer je lahko hitrost prenosa manjša. Vedno večje hitrosti pri prenosu podatkov silijo snovalce mednarodnih standardov, da predpisujejo za logične simbole krajši čas trajanja in pri tovrstnih simbolih to dosežejo z manjšim številom impulzov. S tem pa se poveča vpliv motenj. Posamezni prej omenjeni standardi imajo različno definirane startne in zaključne sekvence, ki jih dekodeži uporabijo za pravilno zajemanje podatkov.

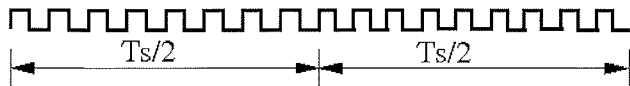


Slika 5: Blokovna shema dekodeža.

Vhodni signal se v pomikalnem registru pomika in na njegovem izhodu dobimo trenutno število impulzov. Števec jih šteje in posreduje komparatorju. Le-ta ima nastavljeno histerezo, ki omogoča pravilno dekodiranje tudi takrat, ko se na vходу pojavijo motnje v obliki manjkajočih impulzov ali pa je med pavzo dodan kakšen impulz. Pri standardih, kjer logične simbole definira večje število impulzov, je lahko nastavljena večja histereza in s tem je narejena večja robustnost na motnje.

3.4. Dvofrekvenčni dekode

Tudi tu gre za modificirane Manchester simbole, kjer je na sliki 6 prikazana logična ničla, logična enka pa je obrnjena /12/, /14/. V prvem delu simbola je osem impulzov frekvence $f_c/32$, v drugem delu pa devet impulzov frekvence $f_c/28$.

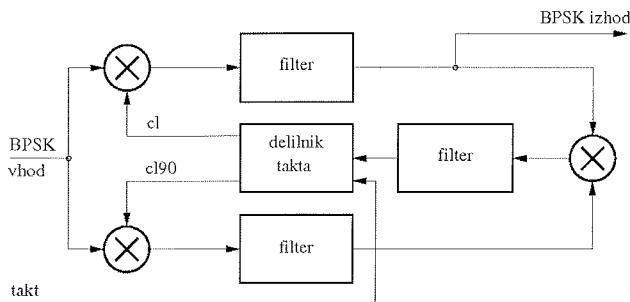


Slika 6: Dvofrekvenčni modificiran Manchester simbol.

Za dekodiranje takšnih signalov je potreben enostaven digitalni filter, ki odstrani impulze z višjo frekvenco. Na izhodu filtra dobimo identične signale, kot so že prikazani na sliki 4 in jih z enakim dekodejem (slika 5) tudi dekodiramo. Pri teh signalih sta frekvenci impulzov za 14% različni, vendar kljub temu ni težav s filtriranjem impulzov z višjo frekvenco, ker sta frekvenci ure pri izpraševalniku in kartici enaki.

3.5. BPSK (binary phase-shift keying) dekode

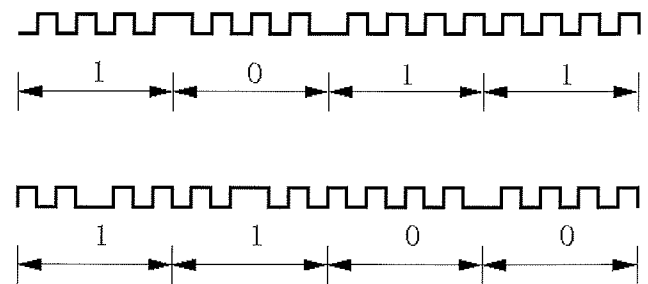
Osnovna BPSK modulacija je proces, kjer sta logična simbola medsebojno fazno zamaknjena za 180 stopinj, oziroma enostavnije povedano, da sta medsebojno invertirana. Tovrstna modulacija se uporablja na HF in tudi na UHF področju. Za dekodiranje teh signalov se uporablja modificirana Costasova zanka /15/, ki ima namesto napetostno krmiljenega oscilatorja uporabljen delilnik signala nosilne frekvence z možnostjo spremembe premika faze signala $c/$ in $c/90$ pri manjših faznih odstopanjih med vhodnim BPSK signalom in taktom $c/$. Ko pa so ta odstopanja večja, se delilniku spremeni v ustrezno smer tudi faktor deljenja. Modificirana Costasova zanka je predstavljena na sliki 7. Za pravičen start je pred podatki dodano določeno število impulzov, ki so potrebni za sinhronizacijo takta $c/$ in $c/90$. Ti impulzi imajo isto fazo kot simbol "1", zato pomeni prvi fazni prehod logično ničlo.



Slika 7: Modificirana Costasova zanka.

Na HF področju se uporabljajo BPSK modulirani signali pri komunikaciji iz kartice do izpraševalnika (standard ISO 14443B) /9/. Osnovna hitrost prenosa podatkov pri osemimpulzni dolžini simbola je 106 kbit/s. Za povečanje hitrosti prenosa podatkov so standard dopolnili in omogočili hitrosti prenosa 212 kbit/s, 424 kbit/s ter 848 kbit/s. Ker

pa je ostala frekvenca podnosilca enaka, so zmanjšali število impulzov za en simbol in sicer na štiri, dva in enega. S tem pa se je zmanjšala tudi odpornost na motnje. Dolžina BPSK simbola na sliki 8 je sestavljena iz štirih impulzov. Logična enka ima enako fazo kot podnosilec, logična ničla pa je za 180 stopinj fazno premaknjena. Prav tako pa je na UHF področju uporabljen dekode v izpraševalniku za dekodiranje modificiranih Millerjevih signalov, definiranih v standardu ISO 18000-6 /16/. Tudi v tem standardu so simboli definirani z osmimi, štirimi ali pa dvema impulzoma.



Slika 8: BPSK signal (1011) in Millerjevo kodiranje (1100) s štirimi impulzi.

Po Millerjevem pravilu se za logično enko zgodi fazna sprememba na sredini simbola, za logično ničlo pa na koncu simbola. Dodatno je upoštevano še eno pravilo, ki ne dovoljuje fazne spremembe pri prehodu iz logične enke v logično ničlo. Dovoljene fazne spremembe se lahko nahajajo po eni, eni in pol ali dveh dolžinah simbola. Po dekodiranju z BPSK dekodejem dobimo serijski niz podatkov s pripadajočim taktom. Ti podatki so še vedno zakodirani z osnovno Millerjevo kodo, prikazano na sliki 9.



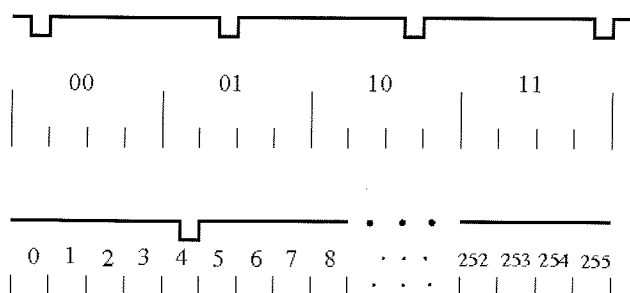
Slika 9: Kodirani podatki z osnovno Millerjevo kodo.

V zgornjem primeru služijo začetne ničle kot pilotski ton, biti 10111 pa kot preambula, ki določi začetek podatkov. Na začetne ničle se sinhronizira delilnik takta, ki ima glede na začetne podatke dvojno frekvenco. Generira se tudi takt, ki je zamaknjen za 90 stopinj in če se zgodi sprememba signala, kadar je le-ta v enki, dobimo logično enko, v vseh drugih primerih pa imamo logično ničlo.

3.6. 1/4 in 1/256 dekode

To kodiranje se uporablja pri prenosu podatkov iz izpraševalnika na kartico. Princip kodiranja je takšen, da je pri načinu 1/256 osem bitov zakodiranih s pozicijo moduliranega signala v enem od 256 taktov /12/. Modulacija je izvedena tako, da je samo polovica periode modulirana, ostali čas pa je podnosilec prisoten. Pri signalih 1/4 pa je osem bitov sestavljenih iz štirih delov, kjer pozicija modulacije podnosilca predstavlja dva bita. Tudi v tem primeru je modulirana samo polovica periode, ki določa dva logična simbola. Na sliki 10 je prikazano kodiranje osmih bitov v

obeh načinih. Ker je širina modulatorskega impulza v obeh načinih enaka, je hitrost prenosa podatkov različna in znaša 26.48 kbit/s za kodiranje 1/4 in 1.65kbit/s za kodiranje 1/256. Preklop iz enega načina kodiranja v drugega določa izpraševalnik s startno sekvenco, ki je sestavljena iz dveh zaporednih impulzov, razdalja med njima pa določa način kodiranja.

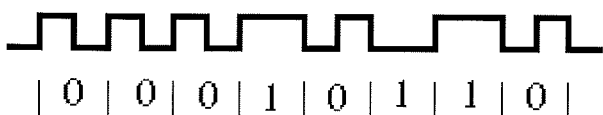


Slika 10: Primer kodiranja podatkov 1/4 in 1/256.

Dekodiranje teh signalov je sorazmerno enostavno in temelji na točnem taktu, ki ga kartica pridobi od izpraševalnika. Po prvi meritvi časa med dvema impulzoma se vezje odloči za enega od dveh načinov dekodiranja. V načinu 1/4 si nastavi časovno okno, ki je dolgo 16 period podnosilčevega takta. V tem času zajete podatke pomakne v pomikalni register, vsakih 16 taktov pa v izhodni register. Pri načinu 1/256 pa števec šteje takte v časovnem oknu, ki je dolgo 256 taktov. Ko pride do impulza, shrani vrednost prešteti taktov v osembitni register in ta vrednost je enaka kodiranemu podatku.

3.7. FMO dekode

Poleg večimpulzne Millerjeve kode se na UHF področju pri prenosu podatkov iz kartice do izpraševalnika uporablja tudi FMO koda /16/.



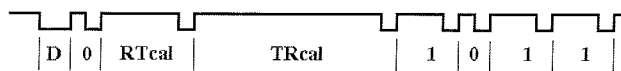
Slika 11: FMO kodiranje osmih bitov.

Pri Millerjevi kodi nastopata dve dolžini impulzov. Značilnost te kode je, da je pri logični ničli sprememba v sredini simbola, logična enka pa ima ves čas trajanja simbola enako vrednost. Pri prehodu iz enega simbola v drugega pa se vedno spremeni tudi stanje. Tudi osnovni dekode takšnih signalov je sorazmerno enostaven. Na začetku prenosa podatkov je 12 ničel, na katere se sinhronizira takt izpraševalnika. Na osnovi tega ugotavljamo fronto signala znotraj simbola. Če se le-ta pojavi, imamo logično ničlo, sicer pa gre za logično enko.

3.8. PIE (pulse interval encoding) dekode

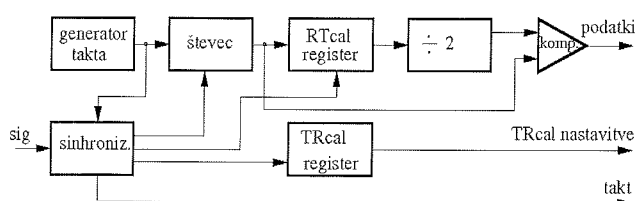
Nekoliko specifično je dekodiranje signalov na karticah na UHF področju. Ekstrahiranje takta iz nosilne UHF frekvence

na kartici bi zahtevalo mnogo več energije kot pa na HF področju. Zato je uporabljena drugačna tehnična rešitev. Na kartici je oscilator s frekvenco 1.92 MHz. Ima tolerance, ki jih dekoder pri dekodiranju podatkov upošteva. Signali, ki prihajajo od izpraševalnika do kartice, so prikazani na sliki 12. Sestavljeni so iz preambule in podatkov /16/.



Slika 12: PIE kodiranje pri UHF kartici.

Prvi modulirani signal, ki ga kartica sprejme, je delimiter D, ki ima predpisano dolžino in sproži dekodiranje signalov. Delimitru sledi simbol za logično ničlo, imenovan tudi tari, ki predstavlja osnovno dolžino, s katero so določene dolžine tudi vseh ostalih simbolov. Tariju sledi simbol RTcal, njegovo trajanje pa je enako vsoti logične enke in ničle. Simbol TRcal ima informacijo za nastavev frekvence podnosilca za oddajo iz kartice k izpraševalniku. Po uspešno sprejeti preambuli pa sledijo podatki.



Slika 13: Blokovna shema dekoderja za PIE signale.

Signal, ki pride v dekode, ob začetku vsakega simbola postavi števec v začetno stanje. S časovno bazo, ki jo določa generator takta, izmerimo čas trajanja RTcal in TRcal simbolov ter ju shranimo v ustrezna registra. Vrednost registra, kjer je shranjen čas trajanja RTcal simbola, prepolovimo in uporabimo kot referenčno vrednost za dekodiranje logičnih ničel in enk. Ko prihajajo podatki, je izhod števca povezan direktno na digitalni komparator. Če stanje števca preseže polovično vrednost RTcal registra, dobimo na izhodu logično enko, v nasprotnem primeru pa logično ničlo. Ker je merjenje dolžine RTcal simbola opravljeno z istim taktom kot kasneje merjenje dolžin simbolov za enko in ničlo, frekvenčne tolerance takta ne vplivajo na rezultat.

4. Zaključek

V tem članku so opisane nekatere kode in načini dekodiranja, ki smo jih uporabili pri načrtovanju integriranih vezij za kartice in izpraševalnike v podjetju IDS d.o.o. Nekoliko podrobneje so prikazani zahtevnejši načini kodiranja, ki so tudi bolj odporni na motnje ter seveda načini, kako takšne signale dekodirati.

5. Literatura

- /1/ Pleterssek A., "A compensated bandgap voltage reference with Sub-1-V supply voltage", *Analog integr. circuits signal proc.*, 2005, vol. 44, pp. 5-15.

- /2/ Benkovic R., Kovacic K., Pletersek A., "Integral nonlinearity determined by selection order of current array units in DA converters", *Inf. MIDE M*, sep. 2005, letn. 35, št. 3, str. 140-143.
- /3/ Pletersek A., "A 12-bit flash ACD = 12-bitni bliskovni DAC", *Inf. MIDE M*, 2003, letn. 33, št. 2, str. 110-114.
- /4/ ATANASIJEVIČ-KUNC, Maja, KUNC, Vinko. Automatically adjustable supply system = Avtomatsko nastavljeni napajalni sistem. *Inf. MIDE M*, mar. 2007, letn. 37, št. 1, str. 12-15.
- /5/ KUNC, Vinko, VODOPIVEC, Andrej, ATANASIJEVIČ-KUNC, Maja, ŠTERN, Anton. *Postopek in vezje za zmanjšanje šuma v sprejetem signalu v izpraševalniku brezkontaktnih kartic : patent št. 22435, datum reg. 30. 6. 2008 : številka prijave P-200600298, datum prijave 29. 12. 2006*. Ljubljana: Patentni urad RS za intelektualno lastnino, 200.
- /6/ KUNC, Vinko, ATANASIJEVIČ-KUNC, Maja. Automatic gain adjustment in contactless communication systems. *Inf. MIDE M*, 2003, letn. 33, št. 2, str. 115-117.
- /7/ Kunc V., Vodopivec A., "Radiofrekvenčni identifikacijski sistem, predviden za nadzor nad dostopom", patent št. SI 22597 A številka prijave P-200700189, datum vložitve prijave 24. 7. 2007. Ljubljana: Patentna pisarna, 2009.
- /8/ Kunc V., Štern, A., "Non-contact smart card interrogator, wherein across a transmission line from an antenna to a receiver the signal modulation varies between amplitude modulation and phase modulation", patent no. US 7,215,239 B2, date of patent May 8, 2007, /S. I./: United States Patent and Trademark Office, 2007.
- /9/ Identification cards – Contactless integrated circuit(s) cards – Proximity cards – Part2: Radio frequency power and signal interface; ISO/IEC 14443-2; First edition 2001-07-01.
- /10/ Near Field Communication – Interface and Protocol (NFCIP-1); ECMA International; Standard ECMA-340, Dec 2002.
- /11/ Information technology – Telecommunications and information exchange between systems – Near Field Communication – Interface and Protocol (NFCIP-1); International standard ISO/IEC 18092, First edition 2004-04-01.
- /12/ Identification cards – Contactless integrated circuit(s) cards – Vicinity cards – Part 2: Air interface and initialization; International standard ISO/IEC 15693-2, First edition 2000-05-01.
- /13/ Technical report, 13.56 MHz ISM Band Class 1 Radio Frequency Identification Tag Interface Specification: Candidate recommendation, version 1.0.0. AUTO-ID-CENTER, February 1, 2003.
- /14/ Tag-it Transponder Protocol, Reference Manual, TIRIS Technology by Texas Instruments, 11-04-21-002, March 2000.
- /15/ Mezyad Amourah and Randall Geiger "A Modified Costas Loop for Clock Recovery and Frequency Syntesis"; Department of Electrical and Computer Engineering, Iowa State University, Ames, IA. 50011.
- /16/ Information technology – Radio frequency identification for item management – Part 6: Parameters for air interface communications at 860-990 MHz; ISO/IEC FCD 18000-6REV1.

dr. Slavko Starašinič

IDS d.o.o.

Tehnološki park 21, 1000 Ljubljana, Slovenija

slavko.starasinic@ids.si

E-mail: slavko.starasinic@ids.si

Prispelo (Arrived): ??????

Sprejeto (Accepted): 09.06.2010