

NAPAJALNI SISTEM BATERIJSKO PODPRTE RFID ZNAČKE

¹Kosta Kovačič, ²Anton Pleteršek

¹IDS d.o.o. Ljubljana, Slovenia

²University of Ljubljana, Ljubljana, Slovenia

Ključne besede: RFID, brezkontaktna identifikacija, sledenje, beleženje parametrov, baterijsko podprt sistem RFID, pametna aktivna značka.

Izvleček: V članku predstavljamo izvedbo napajalnega sistema, ki je uporabljen v baterijsko podprti RFID znački. Baterijsko podprte RFID značke uporabljajo enak princip prenosa podatkov do izpraševalnika kot pasivne RFID značke. Baterija je uporabljena za napajanje sestavnih blokov, kateri morajo delovati tudi izven elektromagnetnega polja. Predstavljena je nova rešitev izvedbe preklopnega vezja z aktivnim krmiljenjem tokovnih stikal. Rešitev omogoča napajanje celotnega integriranega vezja iz elektromagnetnega polja ali iz baterije, kjer se odločitev o viru napajanja izvede ob vsakem prekinitvenem dogodku. Sistem omogoča delovanje RFID značke v popolnoma pasivnem načinu, torej brez baterije ali v baterijsko podprtem načinu. V baterijsko podprtem načinu sistem omogoča delovanje značke tudi po izpraznitvi baterije.

Supply system in a battery supported RFID tag

Key words: RFID, data logger, passive RFID, battery-assisted RFID, Smart Active Label.

Abstract: In this article a supply system for a battery assisted RFID tag is presented. Battery assisted tags have a double supply – the electromagnetic field that is generated by the interrogator and a battery. The energy of the electromagnetic field is used to supply the parts of the system that need to work only in the presence of an interrogator while the battery energy is used to supply other parts of the system that need to work also in the absence of an interrogator. The system used in this work is an RFID battery assisted tag with an integrated temperature sensor and data logging capability. The integrated circuit has been designed in standard CMOS 0.35 μ m technology. The article presents a new supply source switch with active switch control based on the current level of the battery voltage. The complete integrated circuit can be supplied from this supply source switch where the decision on the supply source is made on each interrupt event that wakes up the circuit. The system has 3 interrupt sources, where the first source is the RF supply, the second is the SPI interface and the third is the timer event for data logging. During sleep mode all blocks are turned off and the overall current consumption is less than 100nA. The new supply system is shown on the block diagram (figure 4) and on the schematic (figure 5). The figure 6 shows the simulation in case the battery voltage falls below the specified threshold and the rectified RF voltage is selected. The case where the battery voltage is above the threshold is shown in figure 7.

1 Uvod

RFID tehnologija je zelo razširjena v področju avtomatične identifikacije raznih izdelkov, v nadzoru dostopa, v plačilnih sistemih in v področju identifikacije živali. Že dalj časa se pojavlja težnja dodatne funkcionalnosti RFID sistemov, predvsem na področju merjenja fizikalnih parametrov. Vzrok za to težnjo je predvsem velika razširjenost teh sistemov pri skladiščenju in transportu. Med skladiščenjem in transportom izdelkov se lahko zgodi marsikaj, ki lahko vpliva na kvaliteto izdelka. Pomemben parameter, ki vpliva na lastnost raznih izdelkov, je temperatura, saj je hitrost kemičnih reakcij predvsem odvisna od temperature. Shranjevanje temperature med skladiščenjem in transportom je zelo pomembno pri izdelkih, ki ne spremenijo optičnih lastnosti z degradacijo in ni možno neposredno preveriti, ali jim je življenjska doba že iztekla. Pri takšnih izdelkih je ključnega pomena, da lahko življenjsko dobo avtomatično določimo glede na neprestano spreminjanje fizikalnih pogojev ob skladiščenju in transportu.

V članku je predstavljen napajalni sistem za RFID značko z integriranim temperaturnim senzorjem in enoto za avtomatično beleženje podatkov. RFID značka deluje v ISO15693 standardu, kjer je nosilna frekvenca 13,56MHz.

Nizka poraba integriranega vezja je ključna zahteva pri izdelavi majhnega in cenenelega končnega izdelka. Prednost

imajo predvsem avtomatsko nastavljeni napajalni sistemi / 8/. Pri tem je pomemben način vklapljanja napajanja, ki je delno opisan v /9/. Končni izdelek je običajno v obliki kreditne kartice, kjer je uporabljena tankoplastna tiskana baterija. Glavna pomanjkljivost teh baterij je nizka kapaciteta, saj se le-ta giblje med 10mAh in 30mAh, pri površini 25cm². Druga pomanjkljivost je relativno visoka notranja upornost, ki je tudi odvisna od bremenskega toka. Upornost pri 1mA izhodnega toka je približno 200 Ω . Vendar pa te slabosti odtehta zelo majhna debelina, upogljivost baterij in seveda nizka cena. Debelina baterije znaša manj od 1mm, baterije pa lahko prepogibamo brez poslabšanja lastnosti.

V drugem poglavju je predstavljeno napajanje običajnih pasivnih RFID značk in napajanje baterijsko podprtih RFID značk. V tretjem poglavju je predstavljen nov napajalni sistem, ki uporablja aktivno krmiljenje stikal za preklapljanje vira napajanja.

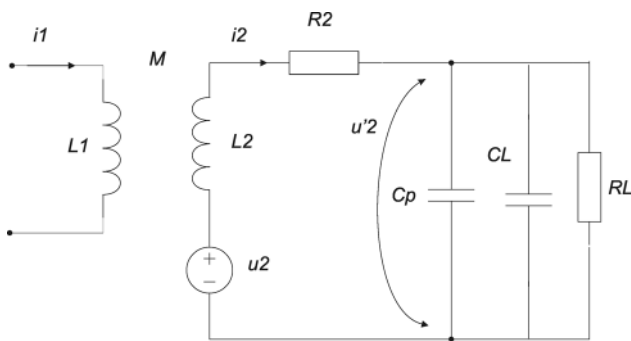
2 Napajanje RFID značk

2.1 Pasivne RFID značke

Pasivne RFID značke nimajo lastnega vira napajanja in se napajajo iz elektromagnetnega polja, katerega ustvarja izpraševalnik (interrogator). Energijo za delovanje pridobi

značka z usmerjanjem izmenične napetosti, ki se inducira na anteni. Antena je sestavljena iz tuljave, ki je zunanji element, in kondenzatorja, kateri je običajno integriran na samem vezju. Tuljava in kondenzator tvorita vzporedno resonančno vezje, ki ima resonančno frekvenco uglašeno na 13,56MHz, lahko pa tudi višje. Za značko je bolj primerna izbira vzporednega resonančnega vezja (Slika 1), ker le-ta nudi pri resonančni frekvenci visoko impedanco in posledično visoko inducirano napetost pri majhnem toku. Višja inducirana napetost je bolj primerna za usmernik izmenične napetosti, majhen tok pa pomeni, da bo integrirano vezje značke moralo imeti nizko porabo.

Poraba integriranega vezja predstavlja dušenje nihajnemu krogu, saj v njega teče tok, zato bi za izračun dušenja potrebovali ekvivalentno upornost, ki jo predstavlja poraba integriranega vezja, ki pa je žal zelo nelinearna.



Slika 1: Ekvivalentno vezje magnetno sklopljene antene izpraševalnika in antene RFID značke

Za poenostavitev izberimo fiksno oddaljenost anten izpraševalnika in značke, kar nam omogoča, da tokovno breme integriranega vezja prevedemo v bremensko upornost (R_L), ki je dodana vzporedno k resonančnemu vezju (L_2 in C). Dobro uglašena resonančna frekvenca značke zelo vpliva na domet branja, zato je pomembno, da se le-ta natančno izračuna. Ko se značka približuje anteni izpraševalnika lahko inducirana napetost zelo naraste, zato imajo integrirana vezja RFID značk tudi omejevalnik napetosti, ki v bistvu znižuje kvaliteto nihajnega kroga in na ta način znižuje inducirano napetost. Kvaliteta se znižuje tako, da se dodatno vključujejo bremena, ki povišajo tok iz nihajnega kroga. V tem primeru bo tok, ki teče v integrirano vezje seveda dosti višji kot v neomejevanem delovanju, zato naša poenostavljena enačba ne bo veljala. Enačba bo veljala v področju od skrajnega dometa do točke, kjer se vključijo omejevalnik napetosti.

Resonančna frekvenca antene RFID značke se izračuna po enačbi (1).

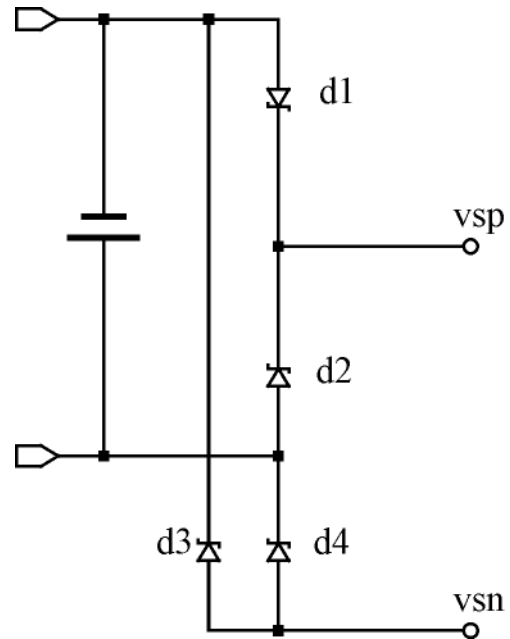
$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{(L_2 \cdot C_2)}} \quad (1)$$

Pri tem je $C_2 = C_p + C_L$.

Kadar se v tuljavi inducira napetost u_2 lahko napetost na sponkah integriranega vezja u'_2 določimo po enačbi (2).

$$u'_2 = \frac{u_2}{1 + (j\omega L_2 + R_2) \cdot \left(\frac{1}{R_L} + j\omega C_2\right)} \quad (2)$$

Sedaj lahko zamenjamo inducirano napetost z $u_2 = j\omega M \cdot i_1 = \omega k \sqrt{(L_1 \cdot L_2)}$ in dobimo odvisnost napetosti u'_2 od medsebojno induktivnostjo izpraševalnika in značke.



Slika 2: Polnovalni usmernik s Schottky diodami

$$u'_2 = \frac{j\omega M \cdot i_1}{1 + (j\omega L_2 + R_2) \cdot \left(\frac{1}{R_L} + j\omega C_2\right)} \quad (3)$$

$$u'_2 = \frac{j\omega k \sqrt{(L_1 \cdot L_2)} \cdot i_1}{1 + (j\omega L_2 + R_2) \cdot \left(\frac{1}{R_L} + j\omega C_2\right)} \quad (4)$$

Iz tega lahko izpeljemo realno obliko (5):

$$u'_2 = \frac{\omega k \sqrt{(L_1 \cdot L_2)} \cdot i_1}{\left(\frac{\omega L_2}{R_L} + \omega R_2 C_2\right)^2 + \left(1 - \omega^2 L_2 C_2 + \frac{R_2}{R_L}\right)^2}$$

V sistemih, ki delujejo na nosilni frekvenci 13,56MHz je kapacitivnost C_2 tako majhna, da je lahko v celoti sestavljena iz integriranega kondenzatorja, ki je priključen med antenske sponke integriranega vezja ter iz parazitnih kapacitivnosti.

Kvaliteta nihajnega kroga Q se določi po enačbi (6).

$$Q = \frac{1}{R_2 \sqrt{\left(\frac{C_2}{L_2}\right) + \frac{1}{R_L} \sqrt{\left(\frac{L_2}{C_2}\right)}} + \frac{1}{\omega L_2 + \frac{R_2}{R_L}}}$$

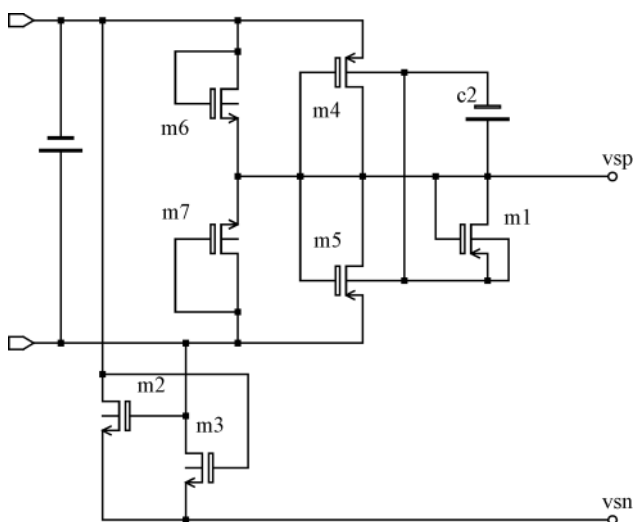
V 13,56MHz značkah je običajno uporabljen polnovalni usmernik, ki je tipično narejen iz tranzistorjev (slika 3). Lahko

je tudi narejen iz Schottky diod (slika 2) v primeru, če to omogoča uporabljena tehnologija.

2.2 Baterijsko podprte RFID značke

Poleg RF usmernika, ki je opisan v prejšnjem poglavju, imajo baterijsko podprte RFID značke še baterijsko napajanje.

V dosedanjih izvedbah pametnih aktivnih RFID značk smo zasledili določeno pomanjkljivost, in sicer je značka neuporabna po izpraznitvi baterije /5/. Takšno značko je potrebno zavreči, hkrati so pa izgubljeni tudi podatki, ki so trenutno shranjeni v trajnem spominu. V primeru, da se ugotovi izpraznjenost baterije dovolj zgodaj ni nobene škode, škoda lahko nastane, če se baterija nepričakovano izprazni v delovanju, ko je aktivno sledenje. To pomeni, da bo določena količina informacij, ki bi bila uporabna, izgubljena. Vzrok za omenjeno pomanjkljivost je dejstvo, da imajo ti sistemi deljeno napajanje. Nekateri deli vezja se napajajo iz enega vira (na primer iz baterije), drugi deli vezja pa iz drugega vira (na primer iz elektromagnetnih valov) /6/. To seveda pomeni, da deli vezja, ki se napajajo iz baterije, ne bodo več delovali po izpraznitvi baterije.

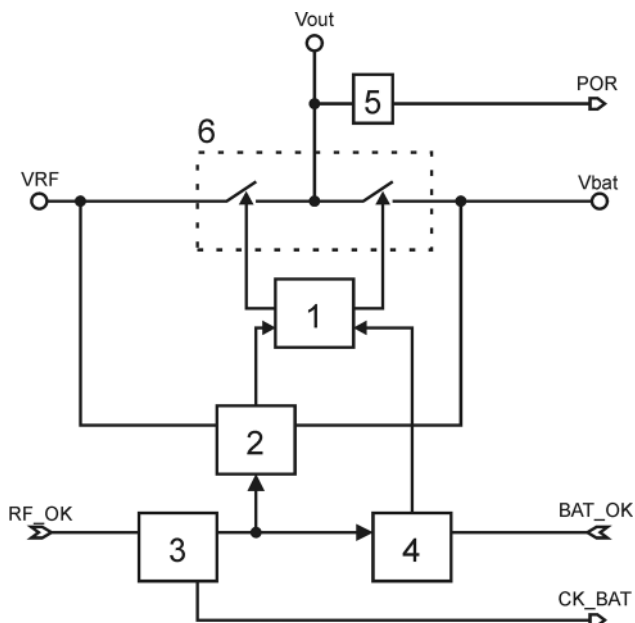


Slika 3: Polnovalni usmernik s tranzistorji

Problem delno rešuje /7/ z uporabo diod, bolj točno Schottky diod. Sistem za izbiro vira napajanja, ki ga opisuje omenjeni patent je pasiven sistem, kar pomeni, da bo za vir napajanja izbrana vedno najvišja napetost, ne glede na stanje baterije. V primeru pametne aktivne značke je bolj primerno, da se za napajanje uporabi baterija, kadar je napetost še dovolj visoka. Baterijsko napajanje je namreč bolj stabilno od RF napajanja, ki je odvisno od več različnih dejavnikov. Prav tako je slabost omenjenega sistema padec napetosti, ki je vedno prisoten na prevodno polarizirani diodi, in je glede na tip diode in uporabljeno tehnologijo od 0.2V do 0.7V. To pa pomeni, da bo napajalna napetost vezja za ta padec manjša, kot bi lahko bila ob uporabi aktivnega sistema izbire napajanja, kakršnega ponuja naša rešitev. Aktivni sistem napajanja omogoča delovanje integriranega vezja z 1.5V baterijo.

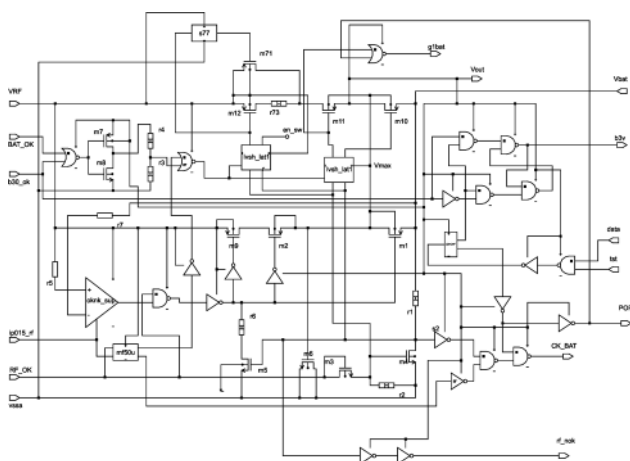
3 Izvedba preklopnega vezja

Integrirano vezje je načrtovano v 0,35 μm tehnologiji CMOS.



Slika 4: Blokovna shema preklopnega vezja

Blokovna shema enote za izbiro napajanja prikazuje slika 4. Stikala, ki na izhodno napajanje povežejo baterijsko napajanje (U_{bat}) ali usmerjeno RF napajanje (U_{RF}) sto označena s 6. V naši izvedbi sta to PMOS stikali. Podvezje 1 je kontrolno vezje za PMOS stikala, podvezje 2 je primerjalno vezje napajalnih napetosti U_{bat} in U_{RF} , ki izbere najvišjo napetost v vezju. Tej napetosti pravimo U_{max} in je povezana na 1, saj jo potrebujemo za ustrezno krmiljenje PMOS stikal. Podvezje 3 je zakasnilno vezje, ki zakasni signal RF_OK . Signal RF_OK je izhod podvezja za oceno usmerjenega RF napajanja, ki se nahaja v analognem radijskem delu in primerja usmerjeno RF napajanje z določenim pragom. Signal RF_OK je v visokem logičnem stanju, kadar je usmerjeno RF napajanje dovolj visoko, da zagotavlja zanesljivo delovanje preostalega vezja. Zakasnen signal RF_OK je povezan na 2 in 4, nezakasnen signal za vklop podvezja za oceno baterijske napetosti (CK_BAT), pa je povezan na vezje za primerjavo baterijske napetosti (ni na blokovni shemi). Podvezje za preverjanje baterijske napetosti se nahaja v analognem merilnem delu in ima na svojem izhodu 1 (signal BAT_OK), kadar je baterijska napetost dovolj visoka za zanesljivo delovanje preostalega vezja. Podvezje 4 po zakasnitvi da podvezju 1 signal, ali je baterijska napetost dovolj visoka za zanesljivo delovanje. Podvezje 5 je vezje, ki generira dinamični reset signal (POR) samo ob vklopu baterijskega napajanja, oz. tudi ob vklopu RF napajanja, če baterijskega napajanja ni. Namen tega signala je povrnitev vseh spominskih celic (flip flop) v začetno stanje.

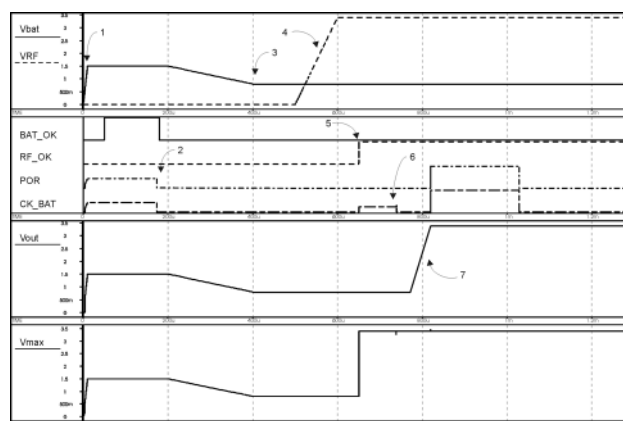


Slika 5: Shema preklopnega vezja za izbiro napajanja

3.1 Analiza vezja

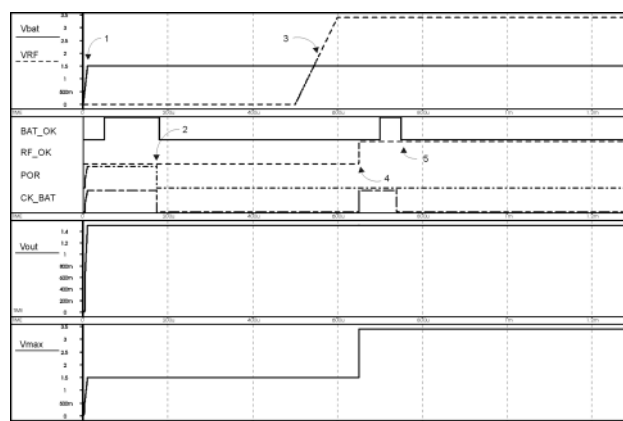
Običajen potek izbire napajanja (slika 7) se začne ob priključitvi baterije, katera sproži POR signal in resetira preostalo vezje. V delovanju lahko pride antena značke v elektromagnetno polje, RF napajanje postane aktivno in analogni radijski del generira signal RF_OK. Podvezje 3 takoj ob RF_OK signalu sproži signal CK_BAT, ki zažene vezje za primerjavo baterijske napetosti. V primeru, ko je baterijska napetost dovolj visoka za zanesljivo delovanje (1,2V) se signal BAT_OK postavi na 1 in ob preteku zakasnitve vezje izbere baterijsko napajanje. Za zanesljivo delovanje PMOS stikal skrbi podvezje 2 na sliki 4, ki najvišjo napetost v vezju pelje v kontrolno vezje PMOS stikal (podvezje 1 na sliki 4) in s pravilnim krmiljenjem izniči možnost povratnih tokov.

Slika 6 prikazuje simulacijo enote za izbiro napajanja, ko baterijska napetost pade pod najnižji dovoljen nivo. Ob trenutku 1 priključimo na vezje baterijsko napajanje z napetostjo 1,5V. Ob tem trenutku se sproži tudi POR signal, kateri vključi vezje za primerjavo baterijske napetosti s signalom CK_BAT. Vezje za primerjavo baterijske napetosti kontrolira signal BAT_OK, ki ima do trenutka 2 visok logični nivo, saj je baterijska napetost dovolj visoka. Ob trenutku 3 baterijska napetost pade pod najnižji dovoljen nivo, vendar se ob tem trenutku nič ne zgodi v samem vezju, saj vezje za primerjavo baterijske napetosti ni aktivno. Ob trenutku 4 (slika 6) pride značka v elektromagnetno polje in RF napajanje se dvigne nad najnižji nivo. V trenutku 5 se postavi signal RF_OK, ki pravi, da je RF napajanje dovolj visoko. Signal RF_OK sproži vezje za primerjavo baterijske napetosti s signalom CK_BAT, vendar je ob koncu primerjave baterijske napetosti (trenutek 6) signal BAT_OK na nizkem nivoju, kar pomeni, da je baterijska napetost prenizka. Zato se ob trenutku 7 za glavno napajanje Vout izbere RF napajanje. Napajanje Vmax, ki je zmeraj priključeno na najvišje napajanje v vezju, se na RF napajanje priključi že ob trenutku 5, ko postane aktiven signal RF_OK in tako zagotovi pravilno delovanje stikal.



Slika 6: Potek izbire napajanja pri nezadostni baterijski napetosti

Slika 7 prikazuje simulacijo enote za izbiro napajanja za primer, ko je baterijska napetost dovolj visoka čez celoten potek grafa. Ob trenutku 1 priključimo na vezje baterijsko napajanje z napetostjo 1,5V. Ob tem trenutku se sproži tudi POR signal, kateri vključi vezje za primerjavo baterijske napetosti s signalom CK_BAT. Vezje za primerjavo baterijske napetosti kontrolira signal BAT_OK, ki je do trenutka 2 v visokem stanju, saj je baterijska napetost dovolj visoka. Ob trenutku 3 pride značka v elektromagnetno polje in RF napajanje se dvigne nad najnižji nivo. Ob trenutku 4 se postavi signal RF_OK, ki pove, da je RF napajanje dovolj visoko. Signal RF_OK sproži vezje za primerjavo baterijske napetosti s signalom CK_BAT. Po končani primerjavi baterijske napetosti (trenutek 5) je signal BAT_OK na visokem nivoju, zato se RF napajanje ne bo izbralo za glavno napajanje. Napajanje Vmax, ki je zmeraj priključeno na najvišje napajanje v vezju, se na RF napajanje priključi že ob trenutku 4, ko postane aktiven signal RF_OK in tako zagotovi pravilno delovanje stikal.



Slika 7: Potek izbire napajanja pri zadostni baterijski napetosti

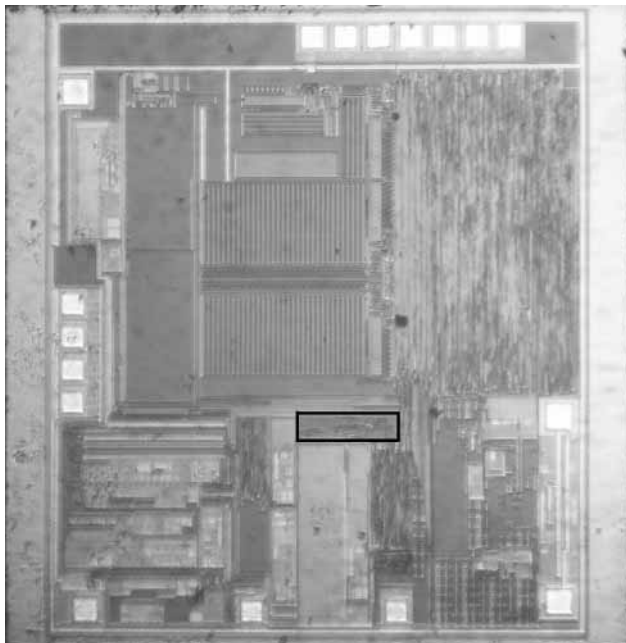
Shema vezja za izbiro napajanja je na sliki 5, kjer so tudi signali, katere nismo opisali v delovanju samega vezja in v blokovnem diagramu. Signal b30_ok je na logični enici, kadar vhodna napetost presega 2,4V, torej kadar je prik-

ljučena baterija z nominalno napetostjo 3V. V tem primeru vezje za izbiro napajalne napetosti ne deluje nič drugače, kot kadar je priključena baterija z nominalno napetostjo 1,5V. Signal b30_ok se v vezju za izbiro napajanja le shrani, saj je potreben za izklop napetostnega dvojnika. Shranjen signal se imenuje b3v in je na shemi prikazan kot izhod. Drugi izhodni signal je g1bat, ki je na logični enici, kadar na integrirano vezje ni priključena baterije in se vezje napaja iz RF polja. Ostali signali so testni signali in vhod za delovni tok.

4 Sklep

Integrirano vezje je načrtano v standardni tehnologiji CMOS 0.35 μ m. Omogoča brezkontaktno komunikacijo z RFID izpraševalnikom na standardu ISO15693. Integriran ima tudi temperaturni senzor in vezje za avtomatično beleženje temperature. Za shranjevanje podatkov je uporabljen pomnilnik tipa EEPROM.

Prednost predstavljenega integriranega vezja RFID nalepke pred prejšnjimi izvedbami /2/, /3/, /4/, /5/, /6/, /7/, je v vpeljavi aktivnega preklopnika izvora napajanja, ki je opisan v tem članku. Ob vsaki prekinitvi iz stanja pripravljenosti (wake-up) se sistem odloči o viru napajanja, glede na trenutno stanja baterije. V stanju pripravljenosti so vsi sklopi integriranega vezja izklopljeni. Poraba v stanju pripravljenosti je tako manjša od 100nA.



Slika 8: Slika integriranega vezja RFID nalepke z označenim preklopnikom izvora napajanja

Predstavljeno vezje se prav tako lahko napaja le iz elektromagnetnega polja in je lahko uporabljeno v popolnoma pasivnih značkah, kot RFID temperaturni senzor.

Prednost takšnega sistema se pokaže tudi v izvedbi z baterijo, saj lahko izpraševalnik dostopa do podatkov, ki so shranjeni na trajnem pomnilniku, tudi po izpraznitvi baterije.

Na sliki 6 je prikazano testno vezje RFID nalepke, kjer je označen tudi preklopnik napajanja.

Zahvale

Avtorja se zahvaljujeta zaposlenim podjetja IDS za nasvete in podporo.

Izvedbo raziskav na projektu je delno financirala Evropska unija.

Literatura

- /1/ Dominique Parret: „RFID and Contactless smart card applications“, John Wiley & Sons Ltd., 2005.
- /2/ B. Abali, H. Franke, M. E. Giampapa: „Method and apparatus for automated measurement of properties of perishable consumer products“, Patentna objava PCT WO 00/45331, 2000.
- /3/ S. K. Howel, I. Butler: „Identification tag with environmental sensing facility“, Patentna objava GB 2308947 A, 1997.
- /4/ P. Sorrels, S. Poulin, L. Furey, S. Alexander: „Radio identification tag device with sensor input“, Patentna objava US 6720866 B1, 2004.
- /5/ N. Batra: „RFID sensor tag with manual modes and functions“, Patentna objava PCT WO 145911, 2007.
- /6/ L. W. Kueckendahl: „Data capture and logging with passive data transmission“, Patentna objava WO 01/84581 A1, 2001.
- /7/ Heinrich Harley Kent, „RFID tag having combined battery and passive power source“, Patentna objava US2003017804 A1, 2003.
- /8/ ATANASIJEVIČ-KUNC, Maja, KUNC, Vinko. Automatically adjustable supply system, Avtomatsko nastavljeni napajalni sistem. Inf. MIDEM, mar. 2007, letn. 37, št. 1, str. 12-15.
- /9/ KUNC, Vinko, VODOPIVEC, Andrej. Vmesnik za zagotavljanje napajalne napetosti s funkcijo mehkega vklopa : patent št. 21527, podeljen z odločbo št. 600-154/03-JM-3 z dne 03. 1. 2005 : datum objave 31. 12. 2004 : številka prijave P-200300154, datum prijave 20. 6. 2003. Ljubljana: Urad RS za intelektualno lastnino, 2004.
- /10/ Klaus Finkenzeller: „RFID Handbook“, John Wiley & Sons Ltd., 2003

Kosta Kovačič
IDS d.o.o. Sojerjeva 63, 1000 Ljubljana, Slovenia
E-mail: kosta.kovacic@ids.si
Tel: +386 1 281 11 83

Anton Pleteršek
University of Ljubljana, Tržaška 25,
1000 Ljubljana, Slovenia
E-mail: anton@kalvarija.fe.uni-lj.si,
anton.pletersek@ids.si