

SIMULÁTOR R/O RFID TAGU PODLE ISO/IEC 18000-4

AN ISO/IEC 18000-4 R/O RFID TAG SIMULATOR

Josef Marek, Ladislav Štěpánek¹

Anotace: Článek se zabývá řešením digitální části RFID tagu splňujícím funkční podmínky dle normy ISO/IEC18000-4 odstavec 5.3.4.2.7: R/O tagy pro vysokorychlostní aplikace. Řešení je hardwarové a je popsáno částečně schematicky a částečně pomocí HDL.

Klíčová slova: RFID, ISO/IEC18000-4, R/O tag, HDL, CPLD, FPGA.

Summary: The paper is aimed on digital kernel of RFID tag complying the ISO/IEC18000-24, section 5.3.4.2.7: R/O tag for high speed applications. Purely hardware solution is described schematically and using HDL.

Key words: RFID, ISO/IEC18000-4, R/O tag, HDL, CPLD, FPGA.

ÚVOD

Zkratka RFID vznikla z anglického označení Radio Frequency Identification, což je technologie identifikace objektů pomocí rádiového signálu. Její historie je velmi stará a datuje se do doby začátků používání radarů k detekci letadel. Radar jako takový detekoval, ale nerozlišil letadla, proto časem byla letadla vybavena odpovídacím vysílačem, který při ozáření radarem vyslal specifický kód, podle kterého bylo možné letadlo rozlišit. V technologii RFID dneška je na místě radaru čtečka (v angličtině se používá termín „interrogator“) a na místě kódového vysílače letadla malý transpondér, pro nějž se vžilo označení „tag“. Tag je pevnou součástí sledovaného objektu. Dnešní RFID využívá mnoho odlišných technologií, které se liší jednak použitým kmitočtovým pásmem a dále použitým komunikačním protokolem na úrovni čtečka – tag. Liší se i způsobem napájení tagu – tag je napájen buď z vnitřní baterie, nebo přenosem vF energie, anebo kombinovaně. V druhém případě to může být buď pomocným elektromagnetickým polem, což je časté např. u bezkontaktních karet docházkových systémů a personálních identifikačních systémů obecně, nebo přímo nosnou pro komunikaci. Způsob napájení je určující především pro maximální vzdálenost mezi čtečkou a tagem, na kterou je možné komunikovat (dosah). Pro některé aplikace je vhodný malý dosah v řádu centimetrů, např. pro personální identifikační systémy, pro jiné je zapotřebí naopak velký dosah, např. systém sledování železničních vozidel. Podle způsobů napájení označujeme tagy jako pasívní, aktivní a semiaktivní (napájení baterií i vF přenosem energie). Pasívní tagy mají delší životnost, neboť nejsou omežovány baterií. Vlastní spotřeba tagu a maximální dovolená energie elektromagnetického pole pak určují maximální dosah pasívního tagu. energii potřebnou pro odvysílání informace z tagu ke čtečce může tag naakumulovat během delšího pobytu v elektromagnetickém poli. To jde ale proti jinému

¹ Ing. Josef Marek, CSc., Ing. Ladislav Štěpánek, Univerzita Pardubice, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Katedra elektrotechniky, nám. Čs. Legií 565, 532 10 Pardubice, tel. +420466 036 136, josef.marek@upce.cz

požadavku na tagy, a tím je rychlost reakce a rychlost přenosu. Existují aplikace, kdy je nutná rychlá reakce. Součástí dnes existujícího a dále rozšiřovaného systému pro řízení jízdy vlaků – ETCS (European Train Control System) je balíza. Balíza je jeden z prostředků přesného určování polohy vlaku v systému ETCS. Balíza (tzv. pevná balíza) je v podstatě RFID tag (s vysokými nároky na funkční bezpečnost a spolehlivost. Z pohledu technologie RFID jde o pasivní tag s vysokou rychlostí. Spolehlivý přenos informace na čtečku, která je součástí palubní části ETCS musí být zajištěn i při rychlosti až 500 km/hod.

Ve světovém měřítku existuje řada doporučení a norem vztahujících se na RFID. Podle doporučení AAR (Association of American Railways) S-918 (Standard for Automatic Equipment Identification) byl v devadesátých letech vybudován úplný systém identifikace drážních vozidel ve výměnném systému členů asociace. Norma ISO/IEC 18000 (1) popisuje rozhraní mezi čtečkou a tagem (tzv. Air Interface) pro různá kmitočtová pásma. Původně obsahovala sedm částí, část -6 pro pásmo 5,8 GHz byla stažena. Část -4 popisuje rozhraní pro pásmo 2,4 GHz.

V článku jsou dále stručně popsány hlavní požadavky normy na tagy a je popsáno řešení varianty tagu R/O HS. Návrh tagu je založen na ryze hardwarovém řešení pomocí kombinačních a sekvenčních obvodů. Nejvyšší úroveň hierarchie návrhu je popsána schematicky a dílčí moduly ve VHDL. Schematický popis v nejvyšší úrovni je pak blízký blokovému schématu a přehledně znázorňuje celé řešení.

Takto vzniklé řešení tagu je použito jako simulátor RFID tagu a jako výchozí podklad při řešení semestrální práce „Čtečka RFID pro pásmo 2,4 GHz a R/O HS tagy“ v předmětu Programovatelné logické obvody na Fakultě elektrotechniky a informatiky Univerzity Pardubice. Funkčnost čtečky se ověřuje v zapouzdřující aplikaci včetně tagu na školních kitech Altera DE2-70 s FPGA CycloneII.

1. RFID PRO PÁSMO 2,4 GHZ

Základní parametry a funkcionalitu tagu i čtečky určuje norma ISO/IEC 18000-4 (dále jen “norma”). Stanoví, že součástí tohoto systému je jednak čtečka, dále pak tři kategorie mobilních součástí – tagů. K funkčnosti je dále pak třeba nadřazený hostitelský systém, který norma nespecifikuje. Tagy v sobě nesou informace, které se prostřednictvím bezdrátového spojení s čtečkou mohou přenést do hostitelské aplikace. Minimální informace, kterou tagy obsahují, je jejich jednoznačné identifikační číslo (TagID). První kategorie tagů, tzv. R/O tagy (tagy pouze pro čtení) může vedle TagID obsahovat i pevně zapsaná uživatelská data. Variantou těchto tagů je kategorie pro rychlé aplikace (se zkrácenou notifikací). Třetí kategorií jsou tagy, které umožňují zápis uživatelských dat prostřednictvím čtečky – tzv. R/W tagy. Norma dále stanovuje minimální funkcionalitu: čtení TagID tagu, který je v dosahu čtečky, čtení dalších dat z tagu, zápis dat do R/W tagu, výběr tagů podle skupiny nebo adresy (pro R/W), čtení a správa dat pro více tagů v dosahu jedné čtečky, detekce chyby

Norma rozlišuje dvě kategorie systémů RFID, a to pasivní a aktivní. První variantu tvoří systém, kdy tag nemá vlastní napájení a je napájen energií získanou z elektromagnetického pole čtečky, což je možné jen v blízkém okolí čtečky. Pro tuto kategorii norma definuje tzv. Mod 1. Druhou kategorií zařízení RFID tvoří systém s tagy, které mají

vlastní energetický zdroj, což umožňuje komunikaci tagů s čtečkou na mnohem větší vzdálenost, řádově desítky metrů. Pro tuto kategorii norma definuje označení Mod 2. Obě dvě kategorie se liší nejen použitým napájením tagů, ale zcela odlišným způsobem komunikace a struktury přenášených dat.

Členění tagů dle způsobů napájení a mít tím na mysli zároveň vhodnost pro použití na velký dosah je poněkud nevhodné, zejména uvážíme-li rychlý vývoj technologií integrovaných obvodů. Firma NXP jako jedna z velmi mála nabízí čip SL3ICS3001 splňující požadavky normy. V režimu čtení R/W tagů udává při EIRP = 0,5 W dosah 0,6 m ve venkovním prostředí, přičemž s funkčním zápisem do vnitřní EEPROM se dosah redukuje na 70 % této hodnoty. Při EIRP=4 W v budovách pak je dosah pro čtení až 1,8 m. V pásmu 860 MHz při ERP = 2 W je to až 8 m.

1.1 Mod 1 tag bez vlastního napájení

Pro přenos ve směru do tagu se používá modulace ASK s modulačním indexem 99% a střídou 50%. Pro zpětný kanál, tedy od tagu ke čtečce se využívá zpětné ovlivňování pole čtečky (tzv. backscatter modulation) skokovou změnou impedance v obvodu tagu. V obou směrech se používá datová rychlost 30-40 kbit/s. TagID je v tomto modu dlouhý 64 bitů a je popsán v příloze A normy. Ve směru do tagu (dopředný směr) jsou data před modulací kódována způsobem manchester. Logické jedničky odpovídá silný signál. MSB se vysílá jako první. Ve směru zpětném, tedy z tagu, se používá kódování FM0 (viz obr. 1). Logické jedničky odpovídá stav nízké impedance v obvodu antény tagu a logické nule stav vysoké impedance. Před daty z tagu je nejprve vysílána preambule pro synchronizaci ve tvaru „00 00 01 01 01 01 01 01 01 01 00 01 10 11 00 01“. Preambule do tagu je tvořena devíti bity 0 v kódu manchester (9x dvojice „01“). Preambuli ve směru do tagu předchází konstantní nosná v trvání cca 400 μ s. Po ní následuje oddělovač „1100111010“, který se dále nekóduje ve stylu manchester. Za oddělovačem následuje pole pro příkaz, po něm pole pro parametry příkazu a datové pole. Pro oba směry komunikace se data zabezpečují kontrolním součtem (CRC) v délce 16 bitů počítaným jako zbytek po dělení datové části zprávy polynomem $x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$. Ten se připojuje invertovaný a od nejvyššího bitu vyššího bajtu. Počítá se pouze z datových bitů.

Důležité je, že v modu 1 tag, dostane-li se do pole čtečky a je napájen, nezačne vysílat, dokud nedostane povel ze čtečky (interrogator talks first).

1.2 Mod 2

Mod 2 je určen pro systémy RFID pracující na velkou vzdálenost a s vysokou přenosovou rychlostí. Datová komunikace mezi čtečkou a tagem je 384 kBit/s při povelování a 76,8 kbit/s při ohlašování tagu (notification), dostane-li se do dosahu čtečky. Na rozdíl od modu 1 v modu 2 je na počátku komunikace založena na principu TTF (Tag Talk First). Podobně jako v modu 1 je pracovní kmitočet v pásmu 2400 až 2483,5 MHz. Vzhledem k tomu, že naším záměrem je realizovat tag pouze pro čtení, nebudeme uvádět informace týkající se R/W tagů, pokud to nebude nutné.

1.2.1 Medium pro komunikace ve směru od čtečky k tagu

Aby nemusel tag obsahovat místní oscilátor, navrhuje se použití dvou signálů s kmitočty vzdálenými od sebe o 13 kanálů: $13 \cdot F_{ch} = 10,6496 \text{ MHz}$ ($F_{ch} = 819,2 \text{ kHz}$). Nižší z nich (označme jej S1) se nazývá v této souvislosti jako referenční a je roven $(2931+m) \cdot F_{ch}$, kde m je číslo kanálu v rozsahu od 0 do 99. Druhý signál (S2) se v této souvislosti (komunikace z čtečky do tagu) nazývá komunikační nosná. Definice systému dle této normy umožňuje (umožňuje-li to příslušný národní telekomunikační úřad) měnit kmitočet pro komunikaci dle volného kanálu v uvedeném rozsahu kanálů při dodržení podmínky vzdálenosti obou nosných o 13 kanálů. Norma pro tyto účely definuje funkci čtečky pro hledání nepoužívaného kanálu. Šířka pásma pro pracovní kanál je 1 MHz. Referenční nosná S1 je v tomto směru (ze čtečky do tagu) nemodulovaná a komunikační nosná je modulovaná GMSK s činitelem $BT_b = 0,5$. Ve směru ze čtečky se data kódují tak, že každý odchozí bajt je podroben operaci XOR s hodnotou B9H. Toto kódování se provádí z důvodu možnosti přenosu dat ve formě samých nul. Stejnou operaci XOR je třeba provést i v opačném směru, tedy s daty z tagu. Platí to i pro R/O tagy, které jsou naplněny od výrobce. V tomto směru (čtečka -> tag) se nepoužívá kódování manchester. Přenosová rychlost ve směru do tagu je 384 kbit/s s požadovanou přesností 200 ppm. První se přenáší MSB. Norma výslovně říká, že tento směr (forward link) se používá pouze pro R/W tagy.

1.2.2 Komunikace ve směru od tagu ke čtečce

Ve směru z tagu do čtečky se rozlišuje případ ohlášení tagu a případ odpovědi tagu na povel ze čtečky. V obou případech musí být aktivní signál nižšího ze dvou zmíněných kmitočtů (S1), označovaný jako referenční (CW). Tag používá tento kmitočet pro komunikaci s čtečkou (opět backscatter) a to jak pro ohlášení, tak pro odpověď na povel. V prvním případě je použita pomocná nosná o kmitočtu 153,6 kHz a ve druhém případě je to 384 kHz. Datová (přenosová) rychlost v prvním případě (ohlášení) je 76,8 kbit/s a používá se kódování dvojitý manchester, tzn. bit „0” se nahradí posloupností „1010” a bit „1” se nahradí „0101”. Ve druhém případě – odpověď na povel – je přenosová rychlost 384 kbit/s, kóduje se jednoduchý manchester „0” za „10” a „1” za „01”. Modulace v obou případech D-BPSK, přičemž norma připouští pro ohlášení použít i OOK. Povelování se používá pouze pro R/W tagy.

1.2.3 Ohlášení tagu

Ohlášení tagu je pro R/W tagy potvrzované, pro R/O i pro R/O HS nepotvrzované. Tagy mohou používat 32 bitů dlouhý identifikátor TagID a jeho formát je popsán v příloze C normy (Annex C). TagID je rozděleno do čtyř částí o délce 18 (UserTagID), 8 (MfrTagID), 4 (autorizace) a 2 (MemoryID) bity. První dvě části mohou být brány podle kódu v třetí části jako jedno identifikační číslo tagu, což je případ kódu 0 v třetí skupině (existující systémy), nebo odděleně první jako uživatelem aplikace přidělené ID a ve druhé skupině ID přidělené výrobcem. Kód v poslední skupině určuje kategorii paměti dat na tagu (00...2kx8, 01...32k x 8, 10...128k x 8 a 11...256k x 8 a větší). Pro R/W tagy platí, že nejmenší paměť je 2 kB. Naproti tomu pro R/O tagy je velikost paměti stanovena od 32 do 160 bitů. V případě tagu

R/O je TagID do tagu zadáno výrobcem tagu při výrobě nebo konfiguraci. V našem simulátoru buď můžeme zadat TagID napevno před kompilací, nebo část volit pomocí přepínačů na vývojovém kitu. Z tohoto důvodu je v simulátoru řešen i výpočet kontrolního součtu, který by jinak mohl být také napevno.

Tag při ohlašování vysílá, dostane-li se do pole čtečky, ohlašovací sekvenci. Ta sestává ze synchronizační části a TagID. Jednotlivé tagy (R/W) mají odlišnou (náhodně volenou) dobu opakování ohlášení pro případ, že se ohlášení nezdaří z důvodu současného ohlašování více tagů. Čtečka nevysílá S1 trvale, ale jen v jistých intervalech, aby se omezilo rušení jiných systémů pracujících v blízkém okolí na stejném kmitočtu. Rovněž tag podle doporučení normy netestuje signál trvale, ale periodicky v krátkých intervalech, zde je důvodem úspora energie. To je ale nepříliš šťastné, protože lepším řešením by bylo realizovat probouzeč (wake-up) obvod, který bude reagovat na přítomnost pole čtečky. Zde je pak ale problém, jak poznat, že jde o pole čtečky, a nikoliv jiný zdroj v tomto využívaném kmitočtovém pásmu. Připomeňme, že tag nemá místní oscilátor, ale vysílaný signál odvozuje od přijímaného S1. Signál od tagu, který se vrací ke čtečce, a i když je odvozen od čtečkou generovaného signálu, může být změněn vlivem vzájemného pohybu tag-čtečka Dopplerovým jevem. Zachytí-li čtečka signál od tagu, zasynchronizuje se na jeho data. Podle synchronizační části čtečka pozná, o jaký tag (o jakou kategorii tagu) jde: R/W, R/O popřípadě R/O HS (pro vysokorychlostní aplikace se zkráceným ohlašováním). Dokončení ohlašování tagu znamená, že čtečka akceptovala tag a zařadila jej do evidence. Délka ohlašovací zprávy může být pevná nebo závisí na MemoryID (součást TagID - 2 bity), viz tab. C.3 a C.4 v normě.

1.2.4 Komunikace s více tagy současně

Týká se pouze R/W tagů. Z principu vyplývá, že není vhodná pro aplikace s požadavky na rychlost. Komunikace s více tagy přítomnými současně v dosahu čtečky probíhá na principu časového třídění TDD/TDM (Time Division Duplexing/Time Division Multiplexing). Jeden časový rámeček představuje kompletní cyklus obsluhy všech tagů v dosahu. Minimální počet podrámčů v rámci je 1, nejkratší rámeček může trvat 7,29 ms.

1.2.5 Logické a fyzické kanály

Každý ze 14 slotů v podrámci má přiřazené dovolené aktivity. Norma pro tyto účely zavádí pojmy logický a fyzický kanál. Logickým kanálem se rozumí přiřazení mezi podrámci a úkoly, které mají být provedeny. Rozlišují se tři kategorie logických kanálů:

- ohlašovací kanál (notification channel, N-CH)
- komunikační kanál (C-CH)
- kanál pro testování spektra (Spectrum check channel, SC-CH)

Logické kanály lze řetězit s cílem provedení kompletních úkolů, např. zápis velkého bloku dat do R/W tagu. Logické kanály mohou být sřetězeny po několik po sobě jdoucích rámečcích. Zde poznamenejme, že v případě R/O tagů se komunikace omezuje jen na ohlášení, při kterém se přečtou veškerá data. Pak se použije pouze N-CH. Kanál SC-CH se používá pro

zjištění volných kanálů v rámci povoleného kmitočtového pásma, pokud je používaný kanál rušen jinou aplikací v pásmu. Podle normy však není povinný.

Logické kanály v sobě obsahují fyzické kanály. Fyzické kanály jsou přiřazení mezi časovými sloty a konkrétními procedurami kódování, modulace, demodulace a dekódování. Prakticky to znamená, že fyzický kanál má část své realizace v tagu a kompatibilní část ve čtečce.

Ohlašovací kanál N-CH zařadí ohlášený tag do struktury rámce (přiřadí podrámec), aby se mohla uskutečnit obousměrná komunikace s R/W tagem. Pokud existuje jiný zaevidovaný tag s probíhající komunikací, vytváří se ohlašovací kanál N-CH jen ve slotu 0, tedy v prvním slotu ze 14 každého podrámce, což je každých 7,29 ms. Pokud není sestaven komunikační kanál a ani není postaven kanál pro sledování spektra SC-CH, může být ohlašovací kanál v každém slotu a ohlašování může proběhnout 14x častěji. Kanál N-CH se ukončuje, když se přečtou veškerá data z tagu R/O. Mimoto může být ohlašovací kanál ukončen, pokud jde o „zakázaný tag“, tedy o tag, se kterým čtečka nemá komunikovat, nebo je detekována chyba v přijatých datech (chyba kontrolního součtu), popřípadě nastala chyba na cestě prvního povelu do R/W tagu, anebo jsou podrámce momentálně obsazeny. Současně může probíhat pouze jedno ohlašování.

V případě R/O tagu není z normy zřejmé, jak tag pozná, že byl přečten jeho TagID a že už se nemá ohlašovat.

Komunikační kanál C-CH (pouze pro R/W tag) zajišťuje operace čtení a zápisu mezi čtečkou a R/W tagem. Musí být ustaven v okamžiku, kdy tag má číst první příkaz.

Kanál testování spektra SC-CH (RSSI - Received Signal Strength Indication, úroveň přijímaného signálu) se ustanoví (může ustanovit), není-li sestaven komunikační ani ohlašovací kanál v podrámci (čtečka nic nevysílá). Může být ustanoven ve volném podrámci.

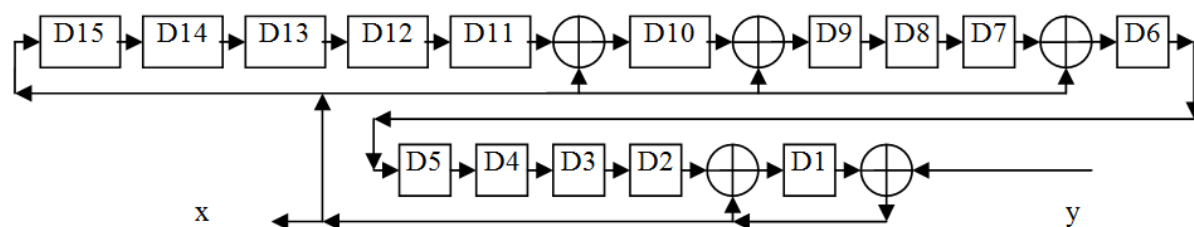
1.2.6 Fyzické kanály – počítání kontrolních součtů (CRC)

Podle normy se používají tyto polynomy pro výpočet kontrolních součtů:

$$\text{CRC1} = X^{15} + X^{10} + X^9 + X^6 + X + 1$$

$$\text{CRC2} = X^{22} + X^{17} + X^{13} + X^9 + X^4 + 1$$

Výpočet probíhá tak, že se zabezpečovaná datová posloupnost doplněná o počet nul v délce příslušného polynomu dělí (XOR, GF (2)) generačním polynomem a zbytek po dělení se doplní na místo nul na konci. Při příjmu se pak celá posloupnost včetně přijatého CRC dělí opět generačním polynomem a musí vyjít podíl beze zbytku.



Zdroj: Autor

Obr. 1 - Realizace inverzní přenosové funkce lineárního sekvenčního obvodu pro polynom CRC1 a pole Galois GP(2) – dělení datové posloupnosti polynomem CRC1.

V obrázku Obr.1 znamená:

x ... vystupující posloupnost vydělená polynomem CRC1, v posuvném registru je pak zbytek po dělení y

y ... vstupující posloupnost dělená polynomem

1.2.7 Fyzické kanály a jejich funkcionalita

Zde pro přehlednost uvedeme podrobněji pouze položky týkající se tagů R/O HS

- S-CH (Tag Slot Identification channel, vyhledání tagu)

V tomto kanále čtečka čte synchronizační část zprávy od nového tagu v dosahu čtečky. Synchronizační část má čtyři sekce. Podle první sekce – korelační části – čtečka pozná, zda jde o R/W tag nebo R/O tag. Podle obsahu položky “čítač” pozná, zda jde o tag pro vysokorychlostní aplikace R/O HS (hodnota tohoto pole je 0 nebo 31). Korelační část je tvořena Barkerovou posloupností (časově reverzovanou) bitově neinvertovanou v případě R/W tagu a bitově invertovanou, jde-li o tag R/O nebo R/O HS.

Nejprve upozorníme, že před touto synchronizační částí je zapojen fyzický kanál TS1-CH, který odešle ITS1 a sesynchronizuje demodulátor přijímače čtečky. Hodnota 0 (popřípadě 31) v poli čítač značí, že jde o tag pro vysokorychlostní aplikace (R/O HS). Povšimneme si, že délka synchronizačního bloku je 20 bitů, což je právě polovina časového slotu. Proto je během jednoho slotu kanál S-CH aktivován dvakrát. Jakmile se tag dostane do pole čtečky, aktivuje se kanál TS1-CH (vyšle ITS1) a dále opakovaně se aktivuje kanál S-CH. Počínaje jedničkou se počítají aktivace S-CH a tato hodnota je údaj v poli čítač. Počet opakování je v případě R/W a R/O tagů celkem 30. Nepoužívá se žádné další kódování. Čtečka aktivuje svůj kanál S-CH pouze ve slotu 0, pokud nejde o vysokorychlostní aplikaci, kdy S-CH je aktivován v každém slotu. Pokud probíhala nějaká operace (s výjimkou operace zápisu prvního povelu do tagu), je přerušena (ohlášení má v tomto případě vyšší prioritu) a počínaje slotem 0 následujícího podrámce se provede načtení TagID – aktivují se MIDx-CH. V případě R/O HS následuje čtení TagID hned v následujících slotech.

- MIDx-CH (TagID read channel, čtení TagID)

Těchto kanálů je několik. Ve dvou po sobě jdoucích slotech se přečte TagID, přičemž MID1-CH čte bity ID31 až ID5, MID2-CH čte zbylých 5 bitů a kontrolní součet k celému ID. Ten je počítaný jako zbytek po dělení polynomem CRC2 a má délku 22 bitů. ID se tedy získá jako produkt dvou fyzických kanálů. Stejnou strukturu jako MID1-CH a MID2-CH mají i MID3-CH a MID4-CH používané pro R/O tagy. Začátek tvoří 11 bitů reverzované Barkerovy posloupnosti pro datovou synchronizaci.

Délka zprávy je 40 bitů, MSB (39. bit) se vysílá jako první. Přenos jedné zprávy zabírá celý slot.

- MINx-CH (Tag data read channel, čtení dalších dat tagu)

Podobně jako v předchozím případě je i těchto kanálů je několik. Tato skupina fyzických kanálů je určena k vyčtení 64 bitů dalších (následujících po TagID) dat. Struktura je stejná jako v předchozím případě u TagID. Celkem lze číst 128 bitů.

- RFD-CH a RFU-CH
Funkce pro případné budoucí použití nejsou v normě zatím definovány.
- SID-CH (Interrogator ID read channel, čtení identifikátoru čtečky – směr ze čtečky, pro R/W tagy), Fyzický kanál se použije pro odeslání ID čtečky ve tvaru 10bitové posloupnosti do R/W tagu a dále 15 bitů hodnoty stavu čítače.
- CS-CH (Command slot channel, kanál pro povel do tagu)
Fyzický kanál se používá k přenosu povelu do tagu.
- R-CH (Read channel, kanál pro čtení dat z tagu)
Fyzický kanál se používá k přenosu dat z tagu.
- W-CH (Write channel, kanál pro zápis dat do tagu)
Fyzický kanál se používá k přenosu dat do tagu.
- CW-CH (Confirm Write channel, potvrzení zápisu dat do tagu - směr z tagu)
Fyzický kanál se používá k potvrzení přenosu dat do tagu v podrámci
- TS1-CH (Interrogator Training Sequence, posloupnost pro nastavení přijímače čtečky)
Fyzický kanál vysílá posloupnost střídání 0 a 1 počínaje 0. Zpráva není diferenciálně kódována s výjimkou posledního bitu, na který pak navazuje diferenciální kódování. Aktivuje se před S-CH a MID-CH, popřípadě před RFU-CH. Zatímco formát zprávy následujícího fyzického kanálu TS3-CH je specifikován tabulkou 118 v normě, formát TS1 je popsán jen slovně a není uvedena délka. Lze se jen domnívat, že má mít délku také 200 bitů. Z normy není patrný rozdíl mezi TS1 a TS2.
- TS2-CH (Interrogator Training Sequence 2 - směr z tagu, nastavení přijímače čtečky)
Fyzický kanál bez logického, slouží k ustálení podmínek v přijímači. Sestává z vysílání 200 bitů střídavých 0 a 1, začíná se 0. Umísťuje se do slotu 3 pro případ čtení dat (fyzické kanály RM-CH, RL-CH, MID-CH), nebo do slotu 12 v případě W-CH, resp. CW-CH. Prakticky: používá se před vysíláním dat z tagu, pokud dosud žádné neproběhlo. Pozoruhodné je, že norma udává vysílací rychlost u této sekvence v rozmezí 200 až 400 kbit/s.
- TS3-CH (Training Sequence 3 - směr do tagu, nastavení přijímače tagu)
- SC-CH (Spectrum Check - hledání volných frekvencí)
Fyzický kanál sloužící k měření RSSI, resp. k hledání volných kanálů v dovoleném rozsahu. Použije se, pokud neprobíhá ohlašování ani komunikace s tagem. Může být ustanoven pro sloty 2 až 12.

1.2.8 Fyzické kanály - řazení do podrámce, směr od tagu ke čtečce

Řazení fyzických kanálů pro R/O HS tag je poměrně jednoduché. Norma obsahuje v obrázcích č. 17 až 21 (v odstavcích 5.3.4.2.5 až 5.3.4.2.8) ukázky možného řazení fyzických kanálů k plnění funkcí logických kanálů. První tři z nich představují ohlášení tagů a to R/W, R/O a R/OHS a poslední ukazuje případ SC-CH. Mimo tyto ukázky není v normě přesně stanoveno pořadí fyzických kanálů, lze tedy předpokládat, že vzhledem k tomu, že synchronizační kód pro kanály MID_x, MIN_x a R-CH je stejný, musí být dodrženo pořadí dle datového obsahu tagu. Při ohlašování je navíc sled a výskyt závislý na obsahu pole MemoryID v TagID. Ze zmíněných obrázků je patrné, jednak že před a po kanálu S-CH (slot identification channel) tag vysílá sekvenci TS1-CH, a jednak, že norma připouští, že v případě tagu R/O překvapivě chybí MID1 a MID2, a čtení TagID probíhá až MID3 a MID4, zatímco v případě tagů R/W a R/O HS je uvedeno srozumitelné pořadí. V tabulce (Table 80) v normě (odstavec 5.3.1.3) se uvádí max. délka dat v tagu R/O 160 bitů nebo více, v konfiguraci pro memoryID =10B je délka dat $4 \cdot 32 + \text{RFU} = 128 + \text{RFU}$ bitů. Formát RFU není v normě popsán. Z normy a ze schématu na obrázcích dále není patrné, jak čtečka pozná, vypadne-li některá sekce ze zprávy například vlivem rušení. Možnou kontrolou pak je jen hlídání doby, za kterou má očekávaná kompletní zpráva dorazit.

2. POPIS ŘEŠENÍ RFID R/O HS TAGU

Naším cílem je sestavit obvodové řešení řešící podmnožinu z funkčních požadavků popsaných v normě pro tag R/O HS, tedy pouze pro čtení a se zkrácenou notifikací. Z normy vyplývá, že tag po detekci pole čtečky odvysílá nejprve startovací sekvenci kanálem ts1-ch, která se vysílá bez diferenciálního kódování a kódování manchester. Pro simulátor použijeme modulační rychlost $76,8 \times 4 = 307,2$ symb./s, tj. Stejnou, jako při bitové rychlosti 76,8 kbit/s a kanálovém kódování dvojitý manchester. Přehledně je sled fyzických kanálů uveden v tabulce Tab. 1. Norma uvádí, že pro tagy R/O a R/O HS se komunikační kanál neustavuje a veškerá data se přenesou při notifikaci. I když norma nic neříká o tom, jak se dá zabránit opakovanému přihlašování tagu, když ohlašování probíhá v opakovaných cyklech a tag nemá zpětnou kontrolu o úspěšném nebo odmítnutém ohlášení (např. když se jedná o tag, který je na tzv. černé listině), v našem případě je počet tagů v poli čtečky omezen a doba pobytu tagu v tomto poli je krátká, takže se tímto problémem nemusíme dále zabývat. Délka sekvence v kanálu S-CH je poloviční a může se tedy odvysílat dvakrát během jednoho slotu. Tag zřejmě musí obsahovat i čítač, který počítá čas ve slotech (půlslotech) podobně jako čtečka i když to v normě není přímo uvedeno. Hodnotu čítače tag vysílá v S-CH a každým S-CH se hodnota čítače zvýší o jednotku. Tag ze skupiny R/O HS však vysílá jen hodnoty 31 a 0. Čtečka tím pozná tento typ tagu a použije pro příjem ohlašování jinou strukturu podrámce: očekává data z tagu bezprostředně ve sledu dle tabulky (Tab. 1).

Popsaná digitální část tagu R/O je zde včetně výpočtu CRC a kódování a to z důvodu možnosti nastavení dat pro experimentování. Prakticky při skutečném tagu R/O lze většinu obvodů nahradit pevnou pamětí a serializérem, přičemž výpočty (CRC) se přenesou do (PC) aplikace pro konfiguraci tagů.

Tab. 1 Fyzické kanály v N-CH, jejich datová a modulační rychlost a přenášená data

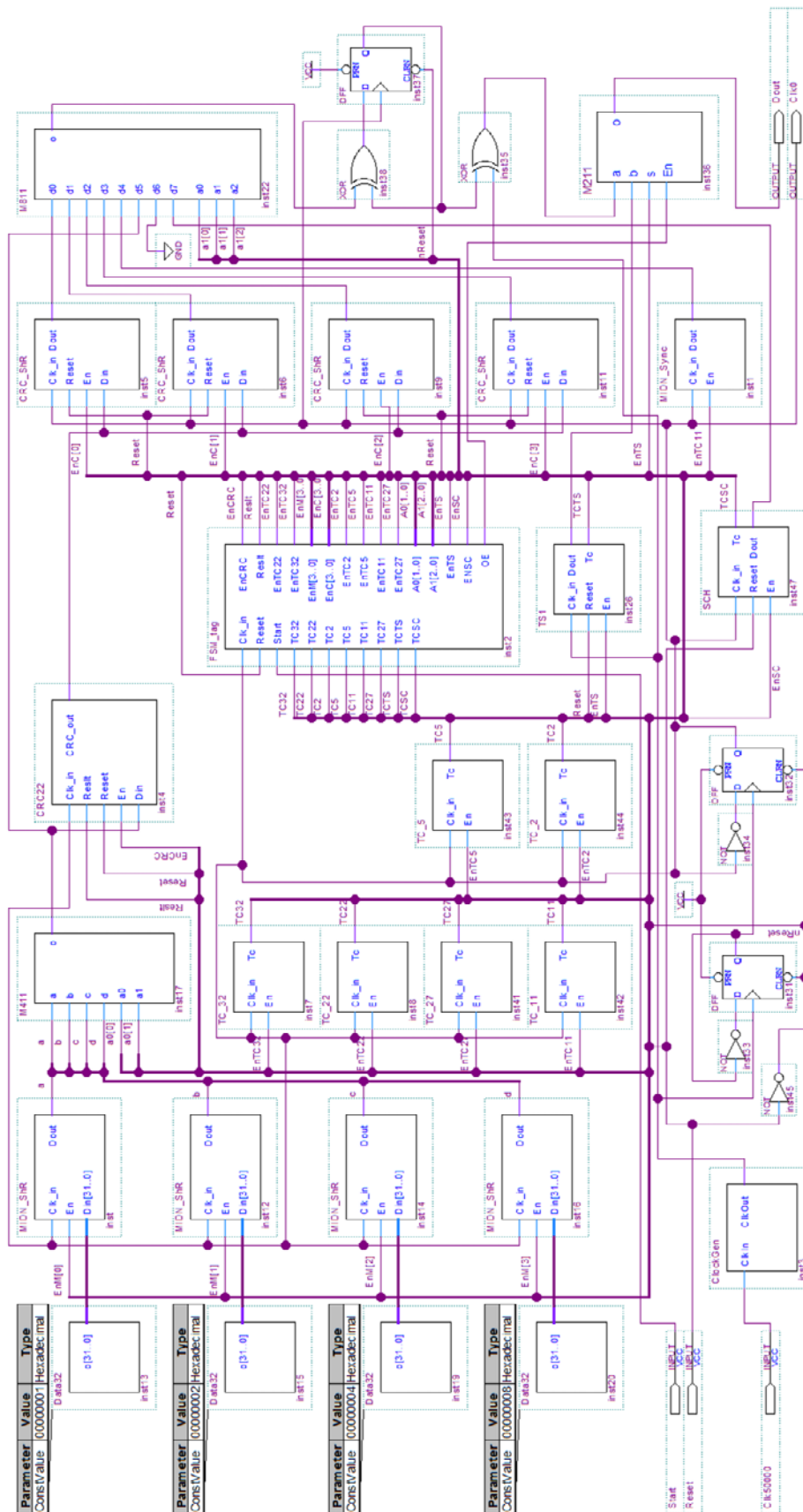
TS1-CH	S-CH	TS1-CH	MID1	MID2	MID3	MID4	MIN1	MIN2	MIN3	MIN4
307,2 kbit/s přímo do modulátoru	76,8kbit/s2-násobný manchester diferenční kódování	307,2 kbit/s přímo do modulátoru	76,8kbit/s 2-násobný manchester, diferenční kódování							
modulační rychlost 307.2 ksymb./s										
Žádný datový obsah	stav čítače tagu	žádný datový obsah	Prvních 27 b TagID	Posledních 5b TagID +CRC	Prvních 27 b TagID -2	Posledních 5b TagID -2	Prvních 27 b TagID	Posledních 5b TagID +CRC	Prvních 27 b Tag Data	Posledních 5b Tag Data +CRC

Zdroj: Autor

Jednotlivé funkční bloky včetně realizace fyzických kanálů jsou popsány ve VHDL. Pro tvorbu a ověřování kódu je využito prostředí Quartus II (2). Popis HW je hierarchický, a protože to prostředí Quartus II umožňuje, je pro vrchní vrstvu použito místo HDL vyjádření schématem. Prostředí Quartus umožňuje kombinovat v jednom projektu schéma s VHDL, ale i jazykem verilog, popřípadě Systemverilog.

Na obrázku Obr. 2 je schéma tagu v nejvyšší vrstvě hierarchického návrhu. Vlevo dole jsou vstupy Start, Reset a hodinový vstup 50MHz. Tento kmitočet je zvolen z důvodů dostupnosti na vývojovém kitu. Vpravo dole je výstup digitálního signálu, který by byl ve skutečném tagu připojen ke hradlu tranzistoru spínajícím anténu pro backscattering. Pro případné využití je vyveden i datový taktovací signál.

V levé části vidíme čtyři bloky Data32, což jsou zadání konstant tvořících TagID a jeho pokračování celkem až do 128 bitů. Bloky MIDN_ShR jsou posuvné registry, které vysouvají ve správném okamžiku přednastavená data. Multiplexor M411 přepíná výstupy posuvných registrů tak, aby se vysouvaly jednotlivé bloky ve správném pořadí. Proud bitů prochází blokem výpočtu kontrolních součtů CRC22. Bloky CRCShR pamatují a vysouvají kontrolní součty. Bloky TC_2, TC_5, TC_11, TC_22, TC_27 a TC_32 odměřují potřebné intervaly v jednotkách period datových hodin a jejich výstupy vedou do centrálního bloku FSM_tag, což je stavový automat (FSM – finite state machine), který řídí činnost celého tagu.

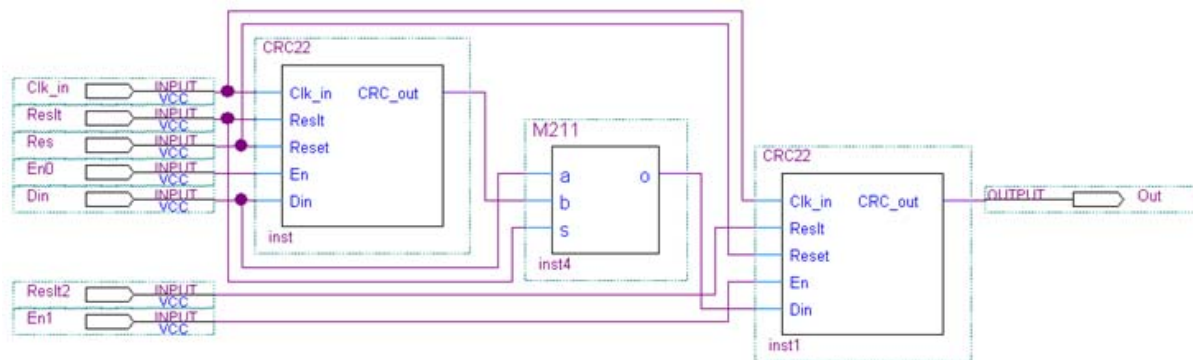


Zdroj: Autor

Obr. 2 - Funkční blokové schéma realizace RFID R/O HS tagu

Zbývá ještě výstupní multiplexor M811, který přepíná signály dat a synchronizačních posloupností SCH a MIDN_Sync. Posloupnost TS1 jde na výstup přímo, proto je zařazen ještě multiplexer M211. Klopný obvod D a hradlo XOR zajišťují diferenciální kódování dat. Druhé hradlo XOR (dolní, inst35) provádí kódování manchester.

Dílejší funkční bloky byly testovány samostatně. Jako příklad lze uvést počítání kontrolního součtu, blok CRC22.



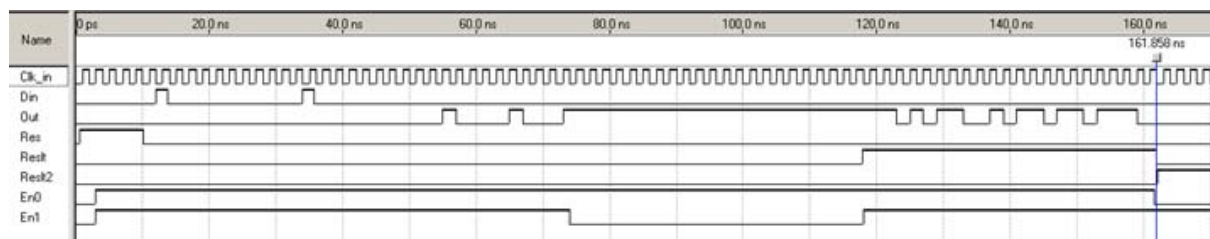
Obr. 3 - Simulace výpočtu kontrolního součtu – zapojení

```

1  -----
2  -- 22-bit CRC generator
3  -----
4  library ieee;
5  use ieee.std_logic_1164.all;
6
7  entity CRC22 is
8  port (Clk_in, Reslt, Reset, En, -- Reslt je signal pro vysunuti zbytku
9        Din: in std_logic;      -- Vstupni data
10       CRC_out: out std_logic); -- v7stup zbytku po deleni
11  end;
12
13  architecture a1 of CRC22 is
14  -- polynom je bez nejvyssiho bitu v normalnim poradi
15  constant CRC22gp : std_logic_vector(21 downto 0) := "00"&X"22211";
16
17  begin
18  Proc0:
19  process(Reset, Clk_in)
20  variable X: std_logic_vector(21 downto 0);
21  variable DoXor: std_logic; --m8 se aplikovat gener. polznom
22  begin
23  if Reset = '1' then X := (others=>'0'); -- prednastaveni na 0
24  else
25  if En = '1' then
26  if rising_edge(Clk_in) then
27  DoXOR := x(21) and not Reslt;
28  X(21 downto 1) := X(20 downto 0); -- posuv vlevo
29  X(0) := Din; -- nova data
30  if doXOR='1' then
31  X := X xor CRC22gp;|
32  end if;
33  end if;
34  end if;
35  end if;
36  CRC_out <= X(21); -- plati az po vydeleni
37  end process;
38  end a1;

```

Obr. 4 - Blok výpočtu kontrolního součtu, ukázka popisu v jazyce VHDL



Obr. 5 - Simulace výpočtu kontrolního součtu – za kurzorem na Res1t je správně nula

Kód na obrázku Obr. 4 slouží zároveň jako ukázka jednoho středně složitěho bloku. Nejsložitější je centrální stavový automat. K jeho popisu existuje přechodová tabulka, která má 39 řádků pro 39 vnitřních stavů automatu. Prostředí Quartus II obsahuje podporu pro návrh FSM. Zkušenosti s používáním z předchozích verzí však nejsou dobré – aplikace je nestabilní. Jako jednodušší se jevil přímý zápis ve VHDL.

Popsaný návrh je možné provozovat a bude provozován ve výuce na univerzálním školním vývojovém kitu Altera DE2-70.

Součástí návrhu by měla být i optimalizace spotřeby. Spotřeba, protože pravděpodobně by byla použita technologie CMOS, je dána HW složitostí (počtem hradel, počtem logických elementů) a pracovním kmitočtem (3). U programovatelných obvodů je spotřeba větší z důvodů dlouhých rozvodů taktovacího signálu a to i v případě, kdybychom použili menší obvod, např. CPLD řady MAX od firmy Altera.

ZÁVĚR

V článku je představen návrh digitální část tagu vyhovujícího požadavkům dle normy ISO/IEC 18000-4 pro R/O tagy určené pro vysoké rychlosti. Praxe ukazuje, že frekvenční pásmo 2,4 GHz není pro tyto aplikace využíváno, soudě podle dostupných nebo spíše nedostupných produktů. Norma jako celek definuje velmi komplikovaný a málo kompaktní soubor funkčních požadavků. Zjednodušený soubor funkčních požadavků spočívající v množině elementárních funkcí pro tagy R/O HS se jeví jako použitelný pro různé aplikace nevyužívající datové úložiště v tagu a naopak vystačující s jednoznačným identifikátorem TagID pevně uloženým v tagu.

POUŽITÁ LITERATURA

- (1) ISO/IEC 18000-4 Part 4 - *Parameters for Air Interface Communications at 2.45 GHz*.

Dostupné z:

http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=46148.

- (2) *Quartus II Handbook v.12.0* [online]. Poslední revize 25. 6. 2012 [cit. 2012-09-22]

Dostupné z : < <http://www.altera.com> >.

- (3) CHANDRAKASAN, A., P., BRODERSEN, R., W., *Minimizing Power Consumption in CMOS Circuit* [online] [cit. 2012-09-22]

Dostupné z : < <http://bwrc.eecs.berkeley.edu/php/pubs/pubs.php/418/paper.fm.pdf> >.