

Marek GOTFRYD<sup>1</sup>  
Bartosz PAWŁOWICZ<sup>2</sup>  
Grzegorz PITERA<sup>3</sup>

## AKTYWNE, PASYWNE I PÓLPASYWNE SYSTEMY RFID

Przedstawiono istotę systemów radiowej identyfikacji obiektów i ich strukturę. Dokonano rozróżnienia na systemy o sprzężeniu indukcyjnym i o sprzężeniu propagacyjnym między czytnikiem i identyfikatorami. Objasniono sposób przekazywania danych w torze od identyfikatora do czytnika za pomocą zwrotnej modulacji pola magnetycznego lub modulacji odbitej fali elektromagnetycznej. Przedstawiono uproszczony schemat blokowy identyfikatora. Dla układów pasywnych pokazano, w jaki sposób mogą być one zasilane energią otrzymywaną z pola elektromagnetycznego wytwarzanego przez czytnik. Pod względem sposobu zasilania identyfikatorów omówiono ich trzy rodzaje: aktywne, pasywne i półpasywne. Najwięcej uwagi poświęcono identyfikatorom półpasywnym, posiadającym w swojej strukturze układ pozyskiwania energii z pól elektromagnetycznych z otoczenia, szczególnie z pola wytwarzanego przez stacje bazowe telefonii komórkowej. Przedstawiono proste obliczenia, wskazujące jaka może być skuteczność tego pozyskiwania i w jakim obszarze jest ono możliwe. Wynika z nich, że realna jest eksploatacja takich identyfikatorów w odległości rzędu kilkudziesięciu – stu metrów od stacji bazowej. Poprawienie tego rezultatu możliwe jest przez dalsze udoskonalanie konstrukcji identyfikatorów, aby pobierały one jak najmniejszą moc. Systemy półpasywne w przedstawionym rozumieniu mają przyszłość, ale wymagają minimalizacji kosztów i dalszej miniaturyzacji identyfikatorów.

**Słowa kluczowe:** system RFID, czytnik, identyfikator, antena, energia, zasilanie

### 1. Wprowadzenie

System radiowej identyfikacji obiektów (RFID – *Radio Frequency Identification*) składa się z radiowego urządzenia zapytującego-odczytującego, nazywanego popularnie czytnikiem (R - *Reader*) lub czytnikiem-programatorem

<sup>1</sup> Autor do korespondencji: Marek Gotfryd, Politechnika Rzeszowska, Zakład Systemów Elektronicznych i telekomunikacyjnych, W.Pola 2, 35-959 Rzeszów, tel 178651239, margot@prz.edu.pl

<sup>2</sup> Bartosz Pawłowicz: Politechnika Rzeszowska, Zakład Systemów Elektronicznych i telekomunikacyjnych, W.Pola 2, 35-959 Rzeszów, barpaw@prz.edu.pl, gp@prz.edu.pl

<sup>3</sup> Grzegorz Pitera: Politechnika Rzeszowska, Zakład Systemów Elektronicznych i telekomunikacyjnych, W.Pola 2, 35-959 Rzeszów, barpaw@prz.edu.pl, gp@prz.edu.pl

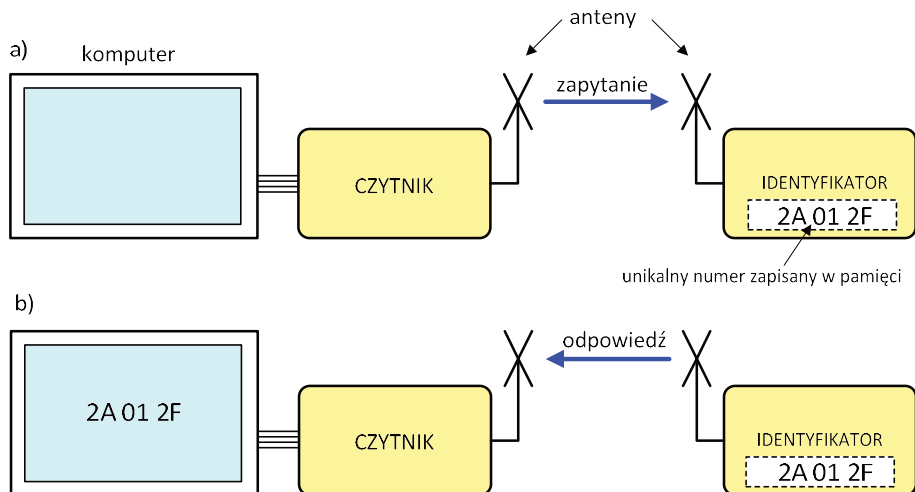
(RWD – *Read and Write Device*) oraz co najmniej jednego identyfikatora (T – *Transponder, Tag*) połączonego z obiektem, który ma podlegać identyfikacji.

Identyfikator zawiera w swej wewnętrznej pamięci unikalny numer, który jednoznacznie identyfikuje obiekt, do którego jest przymocowany. Do wykorzystania systemu konieczna jest jeszcze baza danych wiążąca numery identyfikatorów z typami i rodzajami obiektów oraz muszą być ustalone zasady współpracy czytnika z identyfikatorem (zakres częstotliwości pracy, protokół wymiany danych między czytnikiem i identyfikatorami, itp.).

W odpowiedzi na zapytanie (*interrogation*) czytnika identyfikator przesyła do niego swój unikalny numer i w ten sposób system komputerowy sprzężony z czytnikiem identyfikuje obiekt, z którym ma do czynienia.

Można postawić pytanie, po co tworzyć takie systemy, skoro przy tworzeniu wspomnianej bazy danych następuje już pełna identyfikacja obiektów. Jest to celowe, bo numery są nadawane identyfikatorom przez producentów obiektów w miejscu ich produkcji, natomiast ich odczyt czyli identyfikacja, może następować w zupełnie innym i odległym miejscu.

Systemy RFID znajdują bardzo szerokie stosowanie w logistyce, obrocie towarów od producenta aż do ostatecznego użytkownika, transporcie, w systemach pobierania opłat drogowych, przy identyfikacji zwierząt hodowlanych, itp.



Rys. 1 Funkcjonowanie systemu RFID a) zapytanie czytnika, b) odpowiedź identyfikatora.

Fig. 1. The operation of the RFID system a) reader interrogation, b) transponder response.

Warto zauważyć, że protoplastą obecnych systemów radiowej identyfikacji były systemy IFF (*Identification Friend or Foe*), wprowadzone w latach II wojny światowej w związku z pojawieniem się radaru [1]. Systemy IFF nadal są

stosowane, ich rozwiązania stanowią jedno z najlepiej strzeżonych tajemnic a ich koszt jest prawie bez znaczenia.

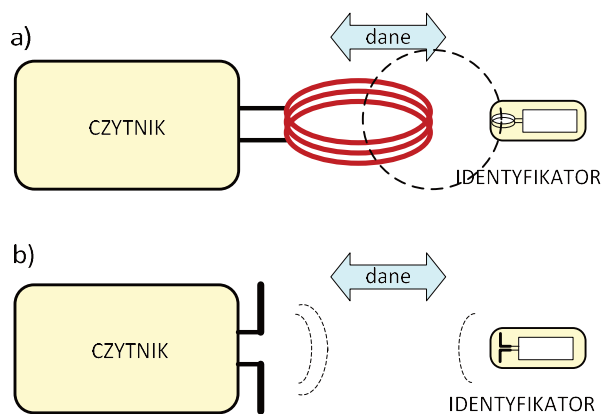
W odniesieniu do powszechnie stosowanych systemów RFID przewiduje się, że docelowo zastąpią one systemy kodów kreskowych, szeroko stosowanych, np. w obrocie detalicznym. Aby było to możliwe, koszty identyfikatorów muszą być jednak bardzo niskie, aby nie zwiększały ceny znakowanych produktów. Warunek ten nie został jeszcze w pełni spełniony, ale jest do osiągnięcia, bo identyfikatory mogą być wytwarzane w setkach milionów egzemplarzy.

Jak wspomniano, czytnik jest urządzeniem zapytująco-odczytującym. Wysyła on sygnał zapytujący do obecnych w pobliżu identyfikatorów, zgodnie z ustalonym w normach protokołem, one też zgodnie z tym protokołem odpowiadają, wysyłając zwrótnie sygnał zawierający ich unikalne numery z pamięci. Czytnik je odbiera i przekazuje do systemu komputerowego, w którym następuje powiązanie tych numerów z typami czy nawet egzemplarzami obiektów.

Tak więc czytnik jest radiowym urządzeniem nadawczo-odbiorczym, podobnie identyfikatory powinny mieć zdolność nadawania i odbioru sygnałów radiowych.

## 2. Rodzaje sprzężenia czytnika z identyfikatorami

Łączność w łączach R-T-R realizowana jest na zasadzie albo sprzężenia indukcyjnego między czytnikiem i identyfikatorami (rys. 2a) albo sprzężenia propagacyjnego (za pośrednictwem fali elektromagnetycznej – rys. 2b).



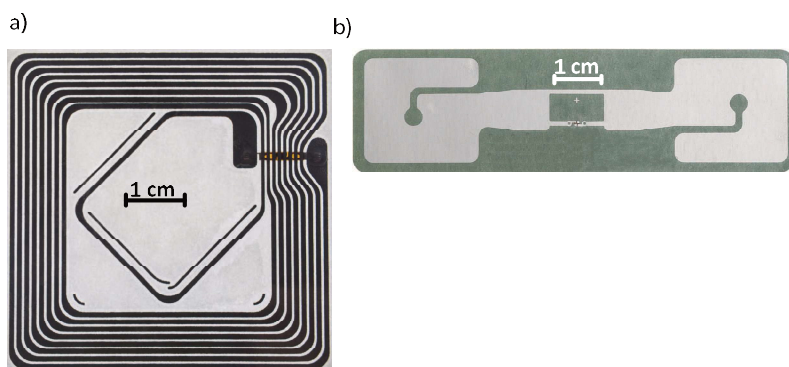
Rys. 2. Typy sprzężeń w systemach RFID; a) sprzężenie indukcyjne, b) sprzężenie propagacyjne.

Fig. 2. Types of couplings in RFID systems: a) inductive coupling, b) radiative coupling.

Sprzężenie indukcyjne stosowane jest z zakresie względnie niskich częstotliwości (125 kHz i 13,56 MHz. Stosowane w tych zakresach anteny to wielo-

zwojowe cewki powietrzne o konstrukcji ułatwiającej uzyskanie dużego rozproszenia pola magnetycznego. Właśnie to rozproszone pole stanowi czynnik sprzęgający czytnik z identyfikatorem i umożliwia wymianę informacji między czytnikiem i identyfikatorem, co więcej, najczęściej też jest nośnikiem energii zasilania dla identyfikatora. Przy takim sprzężeniu zasięgi łączności są rzędu centymetrów i dziesiątków centymetrów, w wielu aplikacjach taki mały zasięg jest wystarczający lub nawet konieczny ze względów bezpieczeństwa (np. przy odczycie dokumentów czy kart płatniczych).

Drugi sposób sprzężenia to sprzężenie propagacyjne – za pośrednictwem promieniowanej przez czytnik fali elektromagnetycznej. Zjawisko promieniowania fali jest efektywne, gdy rozmiary anteny są porównywalne z długością fali, co wymusza stosowanie wysokich częstotliwości (ok. 860 MHz i 2,4 GHz).



Rys. 3. Przykładowe identyfikatory a) indukcyjne, b) propagacyjne.

Fig. 3 Examples of transponders; a) inductive, b) radiative.

Zasięgi takich systemów to nawet kilka metrów lub więcej, wynika to też ze stosowania kierunkowych anten nadawczo-odbiorczych w czytnikach [1].

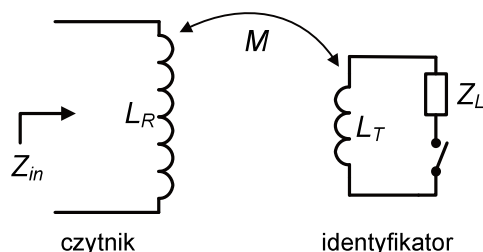
### 3. Sposoby komunikacji identyfikatorów RFID z czytnikiem

W aspekcie wymaganego bardzo małego kosztu identyfikatorów pojawia się pytanie, w jaki sposób odpowiadają one na zapytania czytnika, przecież nie powinny (właśnie ze względu na koszt) zawierać w sobie integralnego nadajnika radiowego czy też źródła silnego pola magnetycznego.

W powszechnie stosowanych systemach RFID do łączności w kierunku T-R stosuje się zwrotną modulację pola magnetycznego lub modulację odbitej w kierunku czytnika fali przez niego nadawanej. Zostanie to teraz objaśnione.

Przy sprzężeniu indukcyjnym antena nadawcza czytnika i odbiorcza identyfikatora tworzą układ wzajemnie sprzężonych indukcyjności. Oczywiście, wza-

jemna odległość tych anten (czyli cewek indukcyjnych) powoduje, że ich współczynnik sprzężenia jest bardzo mały, np. rzędu  $10^{-4}$ , ale jednak niezerowy. Układ tych cewek to inaczej transformator powietrzny, o dość oddalonych od siebie uzwojeniach (ich indukcyjność wzajemna może być rzędu 1 nH – zależy to przede wszystkim od odległości anten). Transformator jest układem bilateralnym (dwukierunkowym) (rys. 4), dlatego zmiany w jego obwodzie wyjściowym mają wpływ na parametry obwodu wejściowego.



Rys. 4. Przedstawienie indukcyjnie sprzężonych czytnika i identyfikatora jako transformatora

Fig. 4. The inductively coupled reader and transponder depicted as a transformer.

Zatem włączanie i wyłączanie obciążenia w obwodzie identyfikatora powodować będzie zmiany (niewielkie) impedancji wejściowej anteny czytnika, zgodnie ze wzorem

$$Z_{in} = Z_{11} - \frac{Z_{12} \cdot Z_{21}}{Z_{22} + Z_L}, \quad (1)$$

gdzie  $Z_{11}$  i  $Z_{22}$  to impedancje własne, natomiast  $Z_{12}$  i  $Z_{21}$  - impedancje wzajemne obwodów potraktowanych jako czwórnik. Warto zauważyć, że w tym układzie  $Z_{12} = Z_{21} = \pm j\omega M$ .

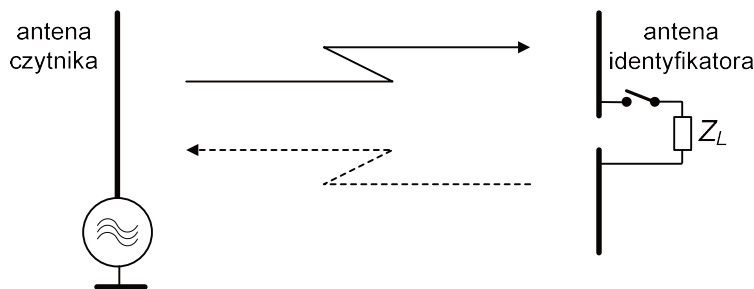
Na tej podstawie można stwierdzić, że obserwując wartość impedancji wejściowej anteny czytnika można odczytać stan klucza w układzie identyfikatora, a stan ten może stanowić informację przesyłaną do czytnika.

Podobnie może być objaśniona łączność identyfikatora z czytnikiem w przypadku ich sprzężenia propagacyjnego.

Anteny czytnika i identyfikatora tworzą wzajemnie sprzężony układ linio-owy (rys. 5). Pierwotnym źródłem fali elektromagnetycznej jest antena czytnika. Wytwarzana przez nią fala dociera do identyfikatora, wzbudza w jego antenie prąd, który powoduje, że antena ta staje się wtórnym źródłem fali wypromieniowywanej do otoczenia, w tym także w kierunku czytnika. Powszechnie określa się to w ten sposób, że antena identyfikatora odbija lub rozprasza falę na nią

padającą (tylko część, bo część energii tej fali jest pochłaniana przez układ elektroniczny identyfikatora).

Z tego względu obydwie anteny, pomimo oddalenia, są sprzężone ze sobą za pośrednictwem fal elektromagnetycznych, które się między nimi rozchodzą. Kluczowanie obciążenia anteny identyfikatora zmienia natężenie płynącego w niej prądu i zmienia parametry odbijanej przez nią fali. Ta fala odbita może być odebrana przez czytnik i poddana detekcji. W ten sposób realizowana jest łączność od identyfikatora do czytnika (*uplink*).



Rys. 5. Przedstawienie propagacyjnego sprzężenia między czytnikiem i identyfikatorem

Fig. 5. Depiction of radiative coupling between the reader and transponder.

Podobnie jak poprzednio, układ anten można potraktować jako czwórnik i impedancję wejściową anteny czytnika wyrazić za pomocą wzoru (1). Ponieważ dla anten obowiązuje twierdzenie o wzajemności [5], także w tym przypadku zachodzi równość  $Z_{12} = Z_{21}$ .

Za pomocą przedstawionych sposobów można uzyskać możliwość przesyłania informacji od identyfikatora do czytnika bez angażowania do tego typowego radiowego układu nadawczego. Jest to bardzo ważne w aspekcie miniaturyzacji identyfikatorów, ich jak najmniejszego kosztu i minimalizacji energii potrzebnej do ich działania.

Właśnie aspekt tej energii stanowi podstawę do podziału systemów RFID na aktywne, pasywne i półpasywne.

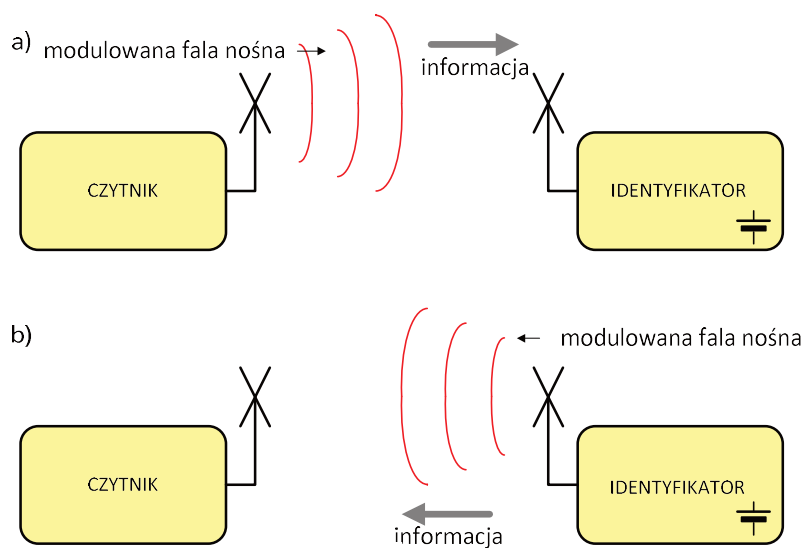
Należy zaznaczyć, że cechy te dotyczą konstrukcji identyfikatorów; czytniki RFID są zawsze urządzeniami aktywnymi, wymagającymi określonej mocy zasilania (kilka – kilkanaście W).

#### 4. Systemy aktywne

Jako aktywne identyfikatory można uznać takie, które są zasilane i zawierają w sobie, oprócz jakiejś części odbiorczej, także typowy układ nadawczy, a więc blok generacji fali nośnej, stabilizacji jej częstotliwości i wzmacniania do odpowiedniego poziomu (rys. 6).

Wszystkie te bloki korzystają z dostępnego źródła zasilania, które musi mieć dostatecznie dużą wydajność prądową. Dzięki temu zasięgi takich systemów mogą być znaczne i sięgać setek metrów i to stanowi ich główną zaletę i określa ich zastosowanie (np. identyfikacja pojazdów w ruchu). Systemy takie zaliczane są do tzw. urządzeń SRD (*Short Range Device*) i NFC (*Near Field Communications*) i do typowych urządzeń RFID nie zawsze są zaliczane, dlatego nie będą tu opisywane.

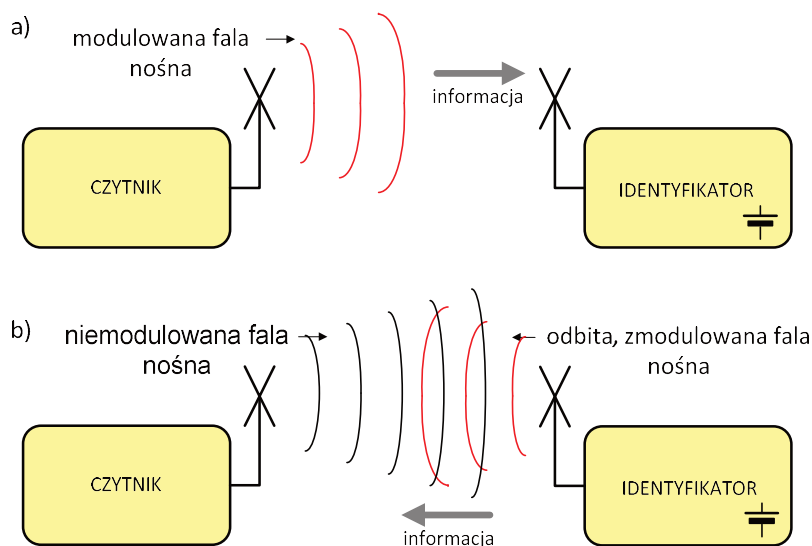
Warto dodać, że w ten sposób pracują tylko systemy o sprzężeniu propagacyjnym; przy indukcyjnym sprzężeniu osiągnięcie tych parametrów jest niemożliwe.



Rys. 6. Schemat pracy systemu RFID z aktywnym identyfikatorem, samodzielnie wytwarzającym falę nośną; a) zapytanie czytnika, b) odpowiedź identyfikatora.

Fig. 6. Operation of the RFID system with active transponder - generating a carrier wave itself: the reader interrogation, b) the transponder response.

Znacznie częściej jako aktywny identyfikator RFID rozumie się taki układ, który zawiera jakieś integralne lub dołączone źródło zasilania (baterię elektrochemiczną), natomiast nie zawiera radiowej części nadawczej (rys. 7).



Rys. 7. Schemat działania aktywnego identyfikatora RFID (dla sprzężenia propagacyjnego); a) zapytanie czytnika, b) odpowiedź identyfikatora

Fig. 7. Operation of active RFID radiative coupled transponder: a) the reader interrogation, b) the transponder response.

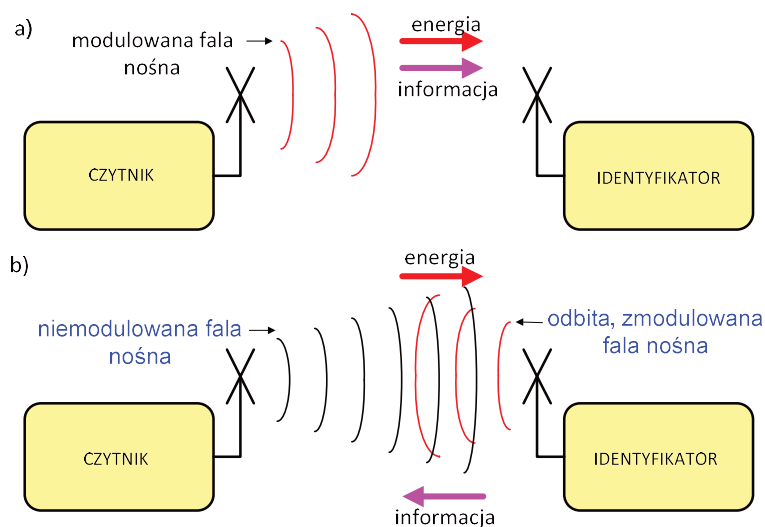
Energia z baterii zasila jego układ elektroniczny (*chip*), a nie jest wykorzystywana do realizacji łączności z czytnikiem. Inaczej mówiąc, pomimo własnego źródła zasilania identyfikatory aktywne odpowiadają na zapytania czytnika przez zwrotną modulację pola magnetycznego lub modulację fali odbitej od anteny (co było opisane wcześniej).

Obecność baterii powoduje, że czas przydatności takiego identyfikatora jest ograniczony; jednak może sięgać nawet 5 lat (wg danych producentów). Osiąga się to przez jego „usypianie” w okresach, gdy nie jest odczytywany, wtedy prąd pobierany przez niego z baterii zmniejsza się do bardzo małej wartości.

## 5. Systemy pasywne

Identyfikatory pasywne nie zawierają żadnego źródła zasilania i energię niezbędną do ich funkcjonowania pobierają z fali promieniowanej przez czytnik, która w związku z tym musi ciągle do nich docierać (rys. 8).



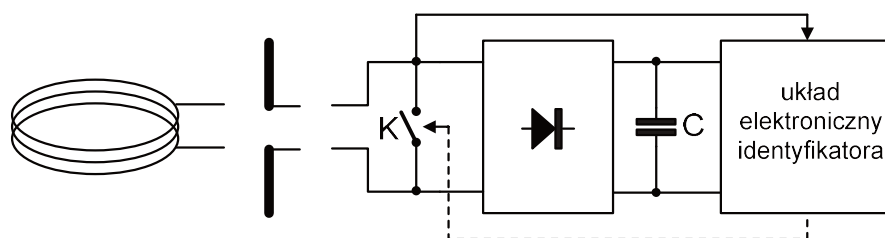


Rys. 8. Schemat funkcjonalny działania pasywnego systemu RFID (dla sprzężenia propagacyjnego) a) zapytanie czytnika, b) odpowiedź identyfikatora

Fig. 8. Operation of the passive radiative coupled RFID system: a) during the reader interrogation b) during the transponder response.

Identyfikator pasywny zawiera w sobie odpowiedni prostownik napięcia indukowanego w antenie; napięcie to służy do zasilania układu identyfikatora. Z tego względu identyfikator może uczestniczyć w sesji łączności tylko wtedy, gdy znajdzie się w odpowiednio silnym polu magnetycznym lub elektromagnetycznym wzbudzonym przez czytnik. Poza tym polem, inaczej mówiąc poza obszarem poprawnego zasilania (OPZ, SZ - *Supply Zone*), identyfikator jest „martwy”.

Uproszczony schemat blokowy identyfikatora pasywnego w aspekcie sposobu jego zasilania pokazano na rys. 9.



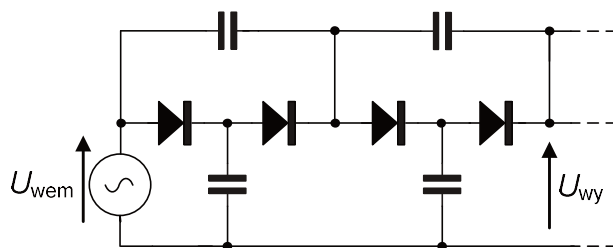
Rys. 9. Uproszczony schemat blokowy pasywnego identyfikatora

Fig. 9. Simplified block diagram of the passive transponder

Kiedy klucz K jest otwarty, układ prostowniczy ładuje kondensator C (kilkadziesiąt-kilkaset pF) i zasila resztę układu; kiedy klucz jest zwarty, identyfikator nie odbiera żadnej mocy, w tym czasie zasilanie układu odbywa się z kondensatora, a cała odbierana z czytnika fala jest odbijana.

Czy możliwy jest taki sposób zasilania identyfikatora? Warto zdać sobie sprawę z poziomów napięć i mocy, jakie występują w tym przypadku. Napięcia indukowane w antenie identyfikatora, gdy ten znajduje się w OPZ, są rzędu dziesiątków mV, niekiedy więcej. W dużej mierze zależy to od odległości od czytnika, ale także od tego, czy antena identyfikatora dostrojona jest do rezonansu z odbieraną falą lub z częstotliwością docierającego pola magnetycznego i czy ma miejsce jej dopasowanie do impedancji wejściowej chipu (zresztą nieliniowej).

Zazwyczaj tak uzyskane napięcie jest za niskie (potrzeba tu minimum 1-1,5 V), dlatego stosowane prostowniki muszą być jednocześnie powielaczami napięcia; powszechnie stosowane są prostowniki-powielacze w układzie tzw. pompy Dicksona [1].



Rys. 10. Schemat jednego z układów prostowników-powielaczy

Fig. 10. Example of one of rectifiers connected with voltage multiplication

Należy pamiętać, że częstotliwość prostowanego napięcia jest wysoka lub bardzo wysoka, dlatego wymagane pojemności kondensatorów w układzie są nieduże (kilka pF), co ułatwia miniaturyzację tego układu i całego chipu identyfikatora.

Wadą układu z rys. 10 jest mała sprawność energetyczna związana z tym, że stałe napięcie wyjściowe  $U_{wy}$  wyraża się wzorem

$$U_{wy} = n \cdot (U_{wem} - U_D), \quad (2)$$

gdzie  $n$  jest liczbą diod,  $U_{wem}$  amplitudą napięcia wejściowego a  $U_D$  jest spadkiem napięcia na przewodzącej (w danych warunkach) diodzie. Jeżeli rozważać diody krzemowe, zwykle przyjmuje się dla nich spadek napięcia równy 0,6-0,7 V. Dla diod Schottky'ego, zalecanych w tym zastosowaniu, napięcie  $U_D$  może być zmniejszone do 0,3 V; w układzie identyfikatora, przy znikomych

prądach przewodzonych, ten spadek jest jeszcze nieco mniejszy. Niemniej jednak typowa sprawność takiego detektora-powielacza nie przekracza 30% [1].

Uwzględniając sprawność energetyczną prostownika, moc konieczna do uruchomienia identyfikatora może być rzędu 100  $\mu\text{W}$  (50-500  $\mu\text{W}$ ), chociaż znane są przypadki jeszcze mniejszych mocy [2]. Wynika to z odpowiedniej konstrukcji chipu, który nie zawsze jest bardzo rozbudowany. Warto zwrócić uwagę na to, że dla układów cyfrowych MOS, prąd ich zasilania zależy proporcjonalnie od częstotliwości zachodzących w nich przełączeń.

Na zakończenie niniejszej części warto wspomnieć o „zupełnie” pasywnych identyfikatorach, tzw. jednobitowych. Są to obiekty w postaci małych dipolowych anten czy w postaci cewek z dołączonym kondensatorem, tworzących obwód o ustalonej częstotliwości rezonansowej.

Przy dostrojeniu pola czytnika do częstotliwości charakterystycznej takiego obiektu, można stwierdzić, czy w polu działania czytnika znajduje się taki obiekt lub nie (jest to informacja jednobitowa). Systemy takie są powszechnie stosowane jako zabezpieczenia antykradzieżowe w sklepach, głównie tekstylnych.

## 6. Systemy półpasywne

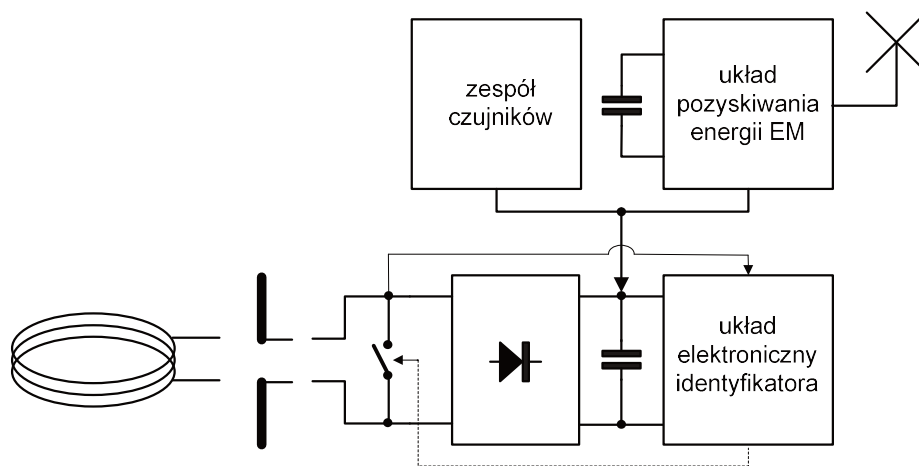
Jako identyfikator półpasywny niekiedy jest rozumiany identyfikator pasywny opisany wyżej, który nie zawiera radiowej części nadawczej (nie zawiera źródła zasilania; zasilany jest z pola czytnika).

Inne rozumienie tego terminu, bardziej aktualne w świetle prowadzonych od kilku lat badań i stosowane w niniejszej pracy to typowy identyfikator pasywny jak w p. 5, ale wyposażony w układ do pozyskiwania energii z otoczenia. Energia ta może być gromadzona w zintegrowanym z identyfikatorem kondensatorze o dużej pojemności (np. superkondensatorze) i wykorzystywana do wspomaganie zasilania układu podczas sesji identyfikacji oraz do realizacji innych funkcji. Te funkcje to najczęściej realizacje różnych czujników wielkości fizycznych w strukturze identyfikatora: temperatury, ciśnienia, wibracji, itp. Dzięki gromadzonej energii czujniki w identyfikatorze mogą być aktywne w okresach, kiedy nie jest on odczytywany, ich wyniki pomiarów mogą być przechowane w pamięci i wysłane do czytnika w czasie najbliższej sesji identyfikacji.

Zastosowanie takich identyfikatorów to np. nadzór, czy przechowywane dłużej produkty spożywcze nie były narażone w jakimś, nawet krótkim, okresie czasu na podwyższoną temperaturę, czy jakieś delikatne urządzenie mechaniczne nie przeszło w swej „historii” zbyt wielu udarów czy wibracji, itp. Użycie takich identyfikatorów wymaga rozbudowy protokołu komunikacyjnego między nimi a czytnikiem, bo oprócz przesyłania typowego numeru identyfikacyjnego obiektu, należy jeszcze w odpowiednim formacie przesłać zgromadzone dane z czujników.

Energia może być pozyskiwana z otoczenia z różnych jej form, ale musi być przetworzona na postać elektryczną. Może to być energia wibracji i wstrząsów przetwarzana przez przetworniki np. piezoelektryczne lub energia ciepła (termoogniwa). Coraz więcej uwagi poświęca się możliwości pozyskiwania energii z pól elektromagnetycznych (EM) obecnych wszędzie w środowisku. Są to pola EM pochodzące od stacji nadawczych TV, radiofonicznych UKF, czy też najbardziej gęsto rozmieszczonych stacji bazowych telefonii komórkowej GSM różnych generacji.

Przykładowy, uproszczony schemat blokowy pasywnego identyfikatora zawierającego układ pozyskiwania energii z otoczenia pokazano na rys. 11.



Rys. 11. Schemat blokowy identyfikatora półpasywnego

Fig. 11. The block diagram of the semipassive transponder.

Układ pozyskiwania energii, popularnie nazywany *harvesterem*, współpracuje z dodatkową anteną, dedykowaną do pasma częstotliwości, w którym poziom energii dostępnej lokalnie w otoczeniu jest największy. Zawiera on układ prostowniczo-powielający (w rodzaju tego z rys. 10), kondensator o stosunkowo znacznej pojemności oraz układ kondycjonujący uzyskane napięcie do wartości wymaganej.

Możliwość pozyskiwania energii EM z otoczenia zależy od wielu czynników; najważniejsze to natężenie pola EM w miejscu użytkowania identyfikatora oraz jego konstrukcja.

Natężenie pola EM może być bardzo różne – bardzo duże w sąsiedztwie stacji bazowych telefonii i małe w otwartym, niezurbanizowanym terenie.

Rozsądnie jest tu przyjąć, że największe natężenie, jakie należy uwzględnić w rozważaniach to maksymalne dopuszczalne natężenie pola EM określone aktami prawnymi.

W Polsce rozporządzenie Ministra Środowiska stanowi, że dopuszczalna powierzchniowa gęstość mocy w paśmie 300 MHz – 300 GHz wynosi  $0,1 \text{ W/m}^2$  [4].

Przy projektowaniu identyfikatora RFID pozyskującego energię z pola elektromagnetycznego należy zmierzyć lub założyć zakres częstotliwości, dla których ta lokalna gęstość mocy będzie największa. Jeżeli identyfikator będzie znakował/monitorował obiekt znajdujący się w pobliżu stacji bazowej systemu GSM900, można przyjąć, że najwięcej energii będzie można pozyskać z pasma 935 – 960 MHz (częstotliwość średnia to 947,5 MHz).

Do dokonania niezbędnych oszacowań można wykorzystać elementarną zależność dla anten [5]

$$S = \frac{P \cdot G}{4\pi \cdot d^2}, \quad (3)$$

gdzie  $S$  oznacza powierzchniową gęstość mocy promieniowanej (w  $\text{W/m}^2$ ),  $P$  jest mocą nadajnika,  $G$  zyskiem energetycznym anteny, a  $d$  oznacza odległość.

Jeżeli przyjąć maksymalną moc wyjściową nadajnika stacji bazowej GSM (40 W) oraz zysk energetyczny jej anteny (17 dBi) [3], to można obliczyć, że gęstość mocy fali EM równa  $0,1 \text{ W/m}^2$  wystąpi w odległości 40 m, ale dotyczy to tylko kierunku maksymalnego promieniowania tej anteny. Na innych kierunkach gęstość ta będzie mniejsza, co przełoży się na mniejszą bezpieczną odległość, ale każdorazowo należałoby sprawdzać, czy graniczna wartość tej gęstości nie jest przekroczona. Dla uproszczenia niniejszych rozważań przyjęto, że w odległości mniejszej niż 40 m od stacji bazowej półpasywne identyfikatory nie będą używane.

Identyfikator korzystający z pola EM stacji bazowej systemu GSM900 powinien być wyposażony w dedykowaną antenę o częstotliwości środkowej 947,5 MHz. Powinna być ona w stanie pozyskiwać energię przy różnej orientacji względem nadajnika. Z tego powodu często stosuje się anteny charakteryzujące się małą kierunkowością oraz eliptyczną lub kołową polaryzacją. W związku z tym typowy zysk takiej anteny to kilka dBi. Z drugiej strony zysk ten powinien być duży, bo poprawia czułość *harwestera*. Przykładowo antena o zysku 3 dBi obniża o połowę minimalny użyteczny poziom sygnału wejściowego w stosunku do anteny o zerowym zysku.

Następne oszacowanie pozwala na ocenę, jakiej pozyskanej mocy można oczekiwać.

Wykorzystany do tego będzie wzór Friisa [5] dla przypadku dopasowania polaryzacyjnego kierunkowego obu anten

$$P_2 = P_1 \frac{G_1 G_2 \lambda^2}{(4\pi \cdot d)^2}, \quad (4)$$

gdzie:  $P_1$  to moc promieniowana przez antenę 1.,  $P_2$  - moc odbierana przez antenę 2. w jej dopasowanym obciążeniu,  $G_1$  i  $G_2$  to zyski energetyczne obydwu anten.

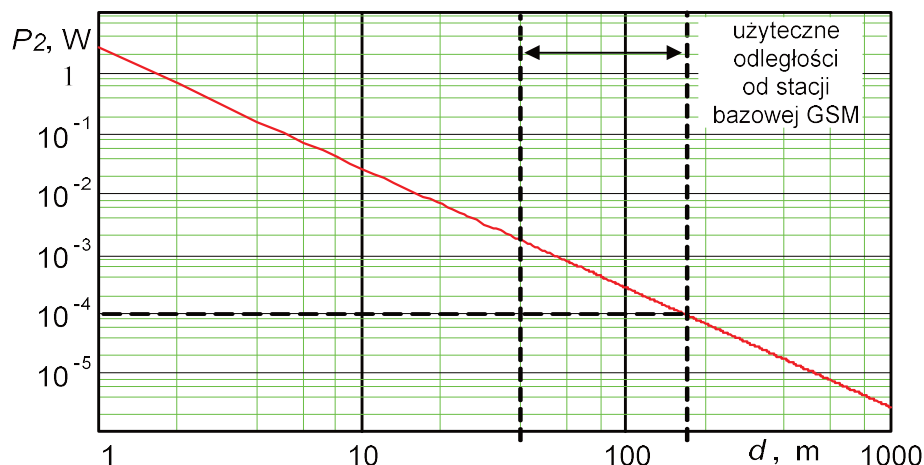
Jeżeli przyjąć podane wcześniej parametry stacji bazowej ( $P_1$  i  $G_1$ ) oraz zysk anteny układu pozyskiwania energii (3 dBi), można obliczyć, że w odległości 40 m moc  $P_2$  będzie równa 1,6 mW. Z punktu widzenia identyfikatora jest to bardzo duża moc, wystarczająca do zaimplementowania w nim dodatkowej funkcjonalności.

Pozyskana w ten sposób energia wymaga dodatkowego kondycjonowania w celu uzyskania napięcia wystarczającego do zasilania układów elektronicznych. Należy również pamiętać, że wyznaczone wartości dotyczą przypadku idealnego, tzn. nie występują żadne odbicia związane z niedopasowaniem impedancyjnym, obie anteny znajdują się w najlepszym możliwym położeniu względem siebie, a stacja bazowa nadaje z maksymalną możliwą mocą. W rzeczywistych warunkach przedstawione wartości mogą być znacznie mniejsze.

Wartość pozyskiwanej mocy znacznie spada w funkcji odległości i maksymalny zasięg pracy ograniczony jest przez czułość układu pozyskiwania energii. Jeżeli będzie ona równa np. 100  $\mu$ W, maksymalna użyteczna odległość od stacji bazowej wyniesie 160 m. Łącznie, użyteczny zakres funkcjonowania przykładowego autonomicznego, półpasywnego identyfikatora RFID będzie ograniczony odległościami 40 i 160 m (rys. 12).

Z przedstawionych rozważań wynika, że realna jest eksploatacja takich identyfikatorów półpasywnych zasilanych energią elektromagnetyczną w pobliżu stacji bazowych telefonii komórkowej, chociaż rozmiary obszaru poprawnej pracy nie są zbyt duże. Poprawienie tego rezultatu możliwe jest przez dalsze udoskonalanie konstrukcji identyfikatorów, aby pobierały one jak najmniejszą moc.

W izolowanych przypadkach można sobie poradzić przez użycie specjalnego nadajnika, „doświetlającego” energią obszar stosowania identyfikatorów półpasywnych. Związane to będzie z dodatkowymi kosztami, ale może być bardzo skuteczne.



Rys. 12. Zależność pozyskiwanej mocy od odległości od stacji bazowej dla parametrów  $P_1 = 40$  W,  $P_2 = 100$   $\mu$ W,  $G_1 = 17$  dBi,  $\lambda = 0,316$  m.

Fig. 12. The dependence of the harvested power vs the distance from base GSM station for  $P_1 = 40$  W,  $P_2 = 100$   $\mu$ W,  $G_1 = 17$  dBi,  $\lambda = 0,316$  m.

## 7. Podsumowanie

Przedstawiono istotę systemów radiowej identyfikacji obiektów, ich strukturę, sposoby realizacji w nich komunikacji i sposoby zasilania identyfikatorów, przytwierdzanych do tych obiektów.

Pod tym względem rozróżniono systemy aktywne, pasywne i półpasywne. Pokazano istotę zasilania pasywnych i półpasywnych identyfikatorów. Tych ostatnich dotyczą aktualne badania i w odniesieniu do nich można oczekiwać dużego postępu technicznego i technologicznego. Najważniejsze jest tu minimalizacja mocy zasilania potrzebnej do uruchomienia identyfikatora. Dla współczesnych identyfikatorów jest ona rzędu kilkudziesięciu mikrowatów. Wszelkie zmniejszenie tej mocy zwiększy zasięg systemu RFID, powiększy też geometryczny obszar możliwej eksploatacji identyfikatorów półpasywnych, jak i obszar ich zastosowań.

## Podziękowania

Badania zostały wsparte przez projekt „Synteza autonomicznego identyfikatora półpasywnego, dedykowanego do pracy w wielokrotnych, dynamicznych systemach RFID”, grant Narodowego Centrum Badań i Rozwoju, No PBS1/A3/3/2012, NCBR.

## Literatura

- [1] Dobkin D. M.: The RF in RFID. Passive UHF RFID In Practice, Elsevier New York, 2007.
- [2] Karthaus U., Fisher M.: Fully Integrated Passive UHF RFID Transponder IC with 16,7  $\mu$ W Minimum RF Input Power, IEEE J. of Solid-State Circuits, 38, No.10, 2003, s. 1602-1608.
- [3] Kubacki. R: Anteny mikrofalowe. Technika i Środowisko, WKŁ, 2008.
- [4] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 30 października 2003 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku oraz sposobów sprawdzania dotrzymania tych poziomów (Dz. U. 2003 nr 192 poz. 1883).
- [5] Szóstka J.: Fale i anteny. WKŁ, Warszawa, 2001.

## ACTIVE, PASSIVE AND SEMIPASSIVE RFID SYSTEMS

### Summary

There was presented the essence of RFID system and its components. The systems are divided into the inductively coupled and radiatively coupled ones. There was explained the method of data transmission between transponders and reader by backward modulation of the magnetic field or by modulation of the reflected electromagnetic wave. The simplified block diagram of a transponder was depicted. It was explained how passive transponders may be powered from magnetic or electromagnetic field created by the reader. In this respect there were discussed three kinds of transponders: active, passive and semi-passive ones. There are given some figures referring to the issue of the powering of transponders. The attention was paid to semi-passive transponders comprising in their structure a circuit for energy harvesting from ambient, especially from electromagnetic fields created by mobile telephony base stations. Simple calculations were performed that indicated the extent to that such harvesting may be efficient. The results were that the usage of semi-passive transponders (and whole semi-passive RFID systems) is possible within several tens to one hundred meters from GSM base stations. Such result may be made better by the transponders improvements aimed for decreasing their required supply power.

**Keywords:** RFID system, transponder, reader, antenna, energy, supply

DOI: 10.7862/re.2015.19

*Tekst złożono w redakcji:* luty 2015

*Przyjęto do druku:* kwiecień 2015