

Grzegorz TOMASZEWSKI¹

OCENA EFEKTYWNOŚCI PRZETWARZANIA ENERGII POLA ELEKTROMAGNETYCZNEGO W UKŁADZIE P2110 DLA PASMA UHF

Celem artykułu było przedstawienie wyników badań oceny efektywności przetwarzania energii pola elektromagnetycznego w układzie P2110 firmy Powercast. W ramach omawianego zagadnienia ujęto aspekty związane z pozyskiwaniem małych ilości energii do zasilania autonomicznych układów elektronicznych o zmniejszonym zapotrzebowaniu na moc. Potencjał energetyczny otaczającego środowiska, eliminacja zagrożeń środowiskowych, a także wzrost funkcjonalności nowoczesnych systemów elektronicznych są istotnymi czynnikami przemawiającymi za opracowaniem efektywnych rozwiązań w zakresie pozyskiwania, przetwarzania oraz gromadzenia energii. Technika pozyskiwania/recykulacji energii (*Energy Harvesting*) znajduje zastosowanie w wielu różnych obszarach aktywności społeczno-gospodarczej człowieka. Na przestrzeni ostatnich lat w środowisku obserwuje się wzrost poziomu pól elektromagnetycznych, których źródłem są różnego rodzaju systemy radiokomunikacyjne. Przenoszona przez nie energia może zostać pozyskana i wykorzystana do celów niezwiązanych z funkcjonowaniem wspomnianych systemów. Obecnie brak jest efektywnych rozwiązań pozwalających na przetwarzanie energii pól o bardzo niskich poziomach przy dużym zakresie zmienności tych poziomów. Jednym z nielicznych komercyjnie dostępnych struktur realizujących taki proces jest układ P2110. W niniejszym artykule przedstawiono sposób doświadczalnego wyznaczenia sprawności przetwarzania energii przez taki układ za pomocą metody, która nie wymaga użycia zaawansowanej aparatury pomiarowej. Na potrzeby badań wygenerowano sztuczne pole elektromagnetyczne, w którym umieszczono układ pozyskujący energię – P2110. Zmiana odległości pomiędzy anteną generującą pole elektromagnetyczne, a układem P2110, umożliwiła realizację pomiarów i ocenę wpływu poziomu mocy wejściowej na sprawność przetwarzania energii w warunkach zbliżonych do rzeczywistych - aplikacyjnych. Wyniki pokazują, że układ osiąga relatywnie dużą sprawność dla poziomu mocy wejściowej wyższego niż -7 dBm. Istotny wpływ na sprawność przetwarzania ma również wartość rezystancji obciążenia. Wzrost obciążenia powoduje obniżenie wartości tego parametru.

Słowa kluczowe: pozyskiwanie energii z pola elektromagnetycznego (UHF), konwersja energii, sprawność przetwarzania energii, układ pozyskiwania energii

¹ Grzegorz Tomaszewski, Politechnika Rzeszowska, ul. W. Pola 2, 35-959 Rzeszów, tel.: 17-865-1239 w. 559, gtom@prz.edu.pl

1. Wprowadzenie

Postęp techniczny i technologiczny jest czynnikiem warunkującym ciągły rozwój autonomicznych systemów elektronicznych. Przenośne urządzenia, cechujące się zmniejszonym zapotrzebowaniem na moc, zwykle zasilane są z tradycyjnych źródeł energii - ogniw elektrochemicznych, zwanych bateriami, akumulatorami itp. Cechą charakterystyczną tego typu urządzeń, w stosunku do klasycznych (zasilanych z sieci elektroenergetycznej), są zmniejszone rozmiary. Bariery istotnie ograniczającą rozwój oraz możliwości aplikacyjne autonomicznych systemów elektronicznych jest energia niezbędna do ich działania.

Dominującym źródłem energii dla większości małych, autonomicznych energetycznie systemów elektronicznych są ogniwa elektrochemiczne. W ostatnich latach można zaobserwować znaczący rozwój z zakresie technologii elektronicznych. Wymagania współczesnych układów scalonych na zapotrzebowanie na energię, niezbędną do prawidłowego ich działania, maleją. To stwarza możliwości realizacji wielu układów (systemów), w pełni autonomicznych, które są w stanie pracować bez zewnętrznego (dedykowanego) źródła zasilania, a niezbędną energię, mogą pozyskać z otaczającego środowiska (energia: cieplna, mechaniczna, światła, pola elektromagnetycznego). Z tego powodu alternatywne metody dostarczania energii, eliminujące konieczność użycia klasycznych źródeł, są przedmiotem badań na całym świecie [1]. Odejście od ogniw cechujących się dużymi gabarytami, związane jest nie tylko z minimalizacją rozmiarów, kosztów implementacji, ale także brakiem konieczności wykonywania przeglądów systemu elektronicznego, mających na celu wymianę lub regenerację źródła energii [2].

Proces pozyskania energii sprowadza się do zastosowania przetwornika i zamiany energii z jednej z wyszczególnionych powyżej form na energię prądu stałego. Cechą odróżniającą środowiskowe źródła energii od klasycznych jest zwykle zmienny poziom mocy, warunkujący sprawność przetwarzania energii i w konsekwencji moc dostępną, która może być wykorzystana do pracy systemu.

Celem niniejszego artykułu jest pokazanie możliwości w zakresie pozyskiwania energii z pola elektromagnetycznego (*Energy Harvesting*), prezentacja wyników badań eksperymentalnych, pozwalających na określenie wpływu poziomu mocy wejściowej na sprawność przetwarzania energii oraz ocena tegoż procesu dla układu firmy Powercast - P2110.

2. Pozyskiwanie energii z pola elektromagnetycznego (RF)

Nieustannie zwiększająca się ilość systemów radiokomunikacyjnych prowadzi do wzrostu poziomu pól elektromagnetycznych. W zakresie częstotliwości radiowych (RF) największa ilość energii zgromadzona jest w pasmach, które wykorzystywane są przez takie systemy jak: naziemna telewizja cyfrowa, radio, telefonia komórkowa GSM 900, 1800, WiFi [3, 4]. Systemy te są źródłem pól elektromagnetycznych, stanowiących medium do transmisji danych oraz energii. Występujące w środowisku poziomy pole zależy od wielu czynników, np. wilgotności, odległości od nadajnika sygnału, obecności przeszkód, pory dnia itd. W mocno zurbanizowanym regionie ilość niesionej przez pole elektromagnetyczne energii jest relatywnie duża. Praktyczne pomiary wykonane w takich obszarach wykazują, że największe poziomy mocy pochodzą od telefonii komórkowej GSM 900 [3], stąd uzasadnione staje się podejmowanie jakichkolwiek prób pozyskiwania energii z pasma wokół częstotliwości 900 MHz. Gęstość mocy występująca w okolicy stacji bazowej zwykle waha się w przedziale 0.1 – 1.0 mW/m² [1].

W kontekście pozyskiwania/przetwarzania energii zgromadzonej w polu elektromagnetycznym (RF) konieczne jest wzięcie pod uwagę maksymalnych poziomów, jakie mogą wystąpić w określonym obszarze geograficznym. Kwestie te są zazwyczaj uregulowane prawnie [5], celem zapobiegnięcia wzajemnego zakłócania się systemów elektronicznych oraz niekorzystnego ich wpływu na środowisko i człowieka. Znajomość poziomów pól, jakich można się spodziewać w środowisku gdzie zostaną zaimplementowane mechanizmy pozyskiwania energii, jest bardzo użyteczna w kontekście efektywności danego rozwiązania.

2.1. Mechanizm transmisji energii w polu dalekim

W obszarze pola dalekiego anteny, dla którego spełniony jest warunek (1):

$$R > \frac{\lambda}{2\pi} \quad (1)$$

gdzie: R – odległość pomiędzy antenami – nadawczą i odbiorczą, λ - długość fali,

powierzchniowa gęstość mocy może być wyznaczona z zależności (2) [6]:

$$S = P_{EIRP} \frac{1}{4\pi R} \quad (2)$$

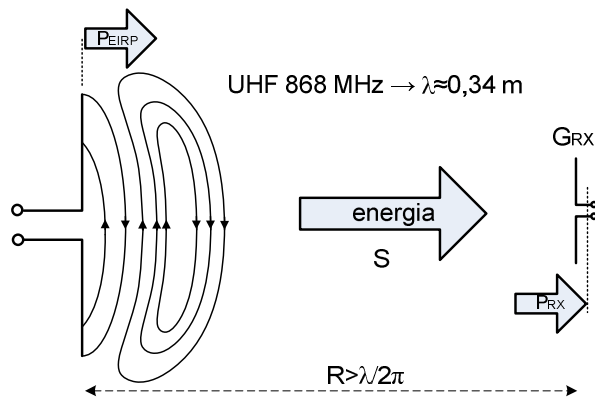
gdzie: S – powierzchniowa gęstość mocy przenoszona przez falę elektromagnetyczną, P_{EIRP} – efektywna moc promieniowana izotropowo (odniesiona do

idealnej anteny izotropowej), R – odległość od anteny nadawczej (źródła pola elektromagnetycznego).

W systemach propagacyjnych (Rys. 1), pracujących w zakresie częstotliwości UHF, dla których spełniona jest zależność (1), w najprostszym przypadku, do wyznaczenia mocy przenoszonej z anteny nadawczej do anteny odbiorczej, można wykorzystać równanie transmisyjne Frissa (3) [6, 7]:

$$P_{RX} = P_{EIRP} G_{RX} \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 \quad (3)$$

gdzie: P_{RX} – moc odbierana w antenie odbiorczej, G_{RX} – zysk energetyczny impedancyjnie dopasowanej anteny odbiorczej, pozostałe oznaczenia zgodne z (2).



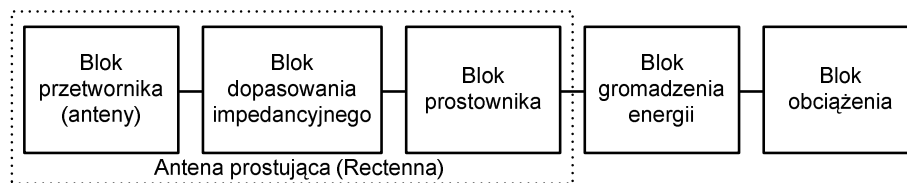
Rys. 1. Mechanizm transmisji energii w polu dalekim w paśmie UHF

Fig. 1. Mechanism of energy transmission in the far field region in UHF frequency range

Kompleksowa analiza transmisji energii wymaga uwzględnienia wielu zmiennych czynników jak np. ułożenie i orientacja anten w przestrzeni, zysk energetyczny układów antenowych, dopasowanie impedancyjne układu antenowego. W dalszej części układu zostanie rozważony najprostszy przypadek elektryczno-geometryczny dla transmisji energii.

2.2. System pozyskiwania energii

Typowy system, w którym wykorzystuje się mechanizmy pozyskiwania energii z pola elektromagnetycznego, pokazano na rysunku 2.



Rys. 2. Schemat blokowy systemu pozyskiwania energii z pola elektromagnetycznego o częstotliwości radiowej

Fig. 2. Block diagram of radio frequency energy harvesting system

Zasadniczym elementem pozwalającym przetworzyć energię z jednej formy na inną jest przetwornik - antena odbiorcza. Może to być pojedyncza antena (dipol, monopól) lub układ antenowy. W przypadku systemów wykorzystujących pola o częstotliwości radiowej przetwornik umieszcza się w obszarze pola dalekiego anteny, będącej źródłem promieniowania elektromagnetycznego. Rozmiar geometryczny tego elementu jest odwrotnie proporcjonalny do jego pożądanej częstotliwości rezonansowej i porównywalny do długości fali odpowiadającej polu elektromagnetycznemu, z którego pozyskuje się energię [6]. Antena dołączana jest do prostownika mikrofalowego, który może być zrealizowany na kilka sposobów, zwykle poprzez obwód dopasowania impedancyjnego, zapewniający maksimum transmisji mocy do obciążenia, często wykonany w oparciu o reaktywne elementy (cewki lub kondensatory) [2]. Połączenie trzech bloków: anteny, układu dopasowania impedancyjnego oraz prostownika w literaturze anglojęzycznej określone jest jako *Rectenna*, czyli antena prostująca [6, 8, 9]. Możliwe jest wykorzystanie różnych topologii anteny prostującej - wybór rozwiązania zależy w dużej mierze od dostępnego poziomu mocy i pożądanej sprawności przetwarzania energii [9]. Niemal we wszystkich systemach pozyskiwania energii, szczególnie w tych, w których energia dostępna jest okresowo lub też poziom mocy jest niewielki i niewystarczający by zasilić bezpośrednio obwody odbiorcze, stosuje się elementy gromadzące energię – kondensatory. W zależności od przeznaczenia systemu, może to być kondensator o małej lub dużej pojemności (superkondensator), ewentualnie połączenie tych dwóch, lub inny magazyn energii. W tego typu systemach, gdy poziom dostępnej mocy jest niski, blokiem obciążenia może być układ elektroniczny o zmniejszonym zapotrzebowaniu na energię, realizujący okresowo określoną funkcję np. scalony transponder RFID [1, 10].

2.3. Sprawność przetwarzania energii

Efektywność przetwarzania energii pola elektromagnetycznego na energię prądu stałego determinowana jest ilością mocy dostępnej dla pracy zintegrowanego systemu elektronicznego. Sprawność konwersji energii w głównej mierze

uzależniona jest od sprawności: anteny, obwodu dopasowania impedancyjnego oraz bloku prostownika (powielacza napięcia) [2].

Systemy, w których do transmisji energii wykorzystuje się sprzężenie indukcyjne (bliskiego zasięgu) charakteryzują się bardzo dużą sprawnością. Inaczej jest w systemach propagacyjnych (dalekiego zasięgu), które pracują z częstotliwościami radiowymi (ok. 1 GHz) i wykorzystują inny mechanizm transmisji energii [9].

Z uwagi na dążenie do osiągnięcia jak największej sprawności przetwarzania stosuje się różne topologie dla wykonania anteny prostującej oraz realizacji prostownika mikrofalowego [9].

Sprawność przetwarzania dla systemu pozyskiwania energii określić można zależnością 4 [2, 4, 9]:

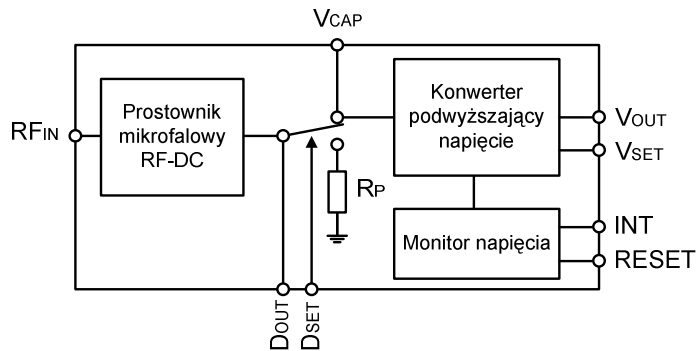
$$\eta = \frac{P_{DC}}{P_{RF}} \quad (4)$$

gdzie: P_{DC} – moc na obciążeniu podłączonym do układu pozyskiwania energii,
 P_{RF} – moc dostępna na wejściu układu pozyskiwania energii.

Moc P_{RF} może zostać wyznaczona z relacji (3).

3. Pomiary sprawności przetwarzania energii w układzie P2110

Komercyjnie dostępny układ P2110 [11], którego schemat blokowy pokazano na rysunku 3, umożliwia konwersję energii pola elektromagnetycznego na energię prądu stałego.



Rys. 3. Schemat funkcjonalny układu P2110

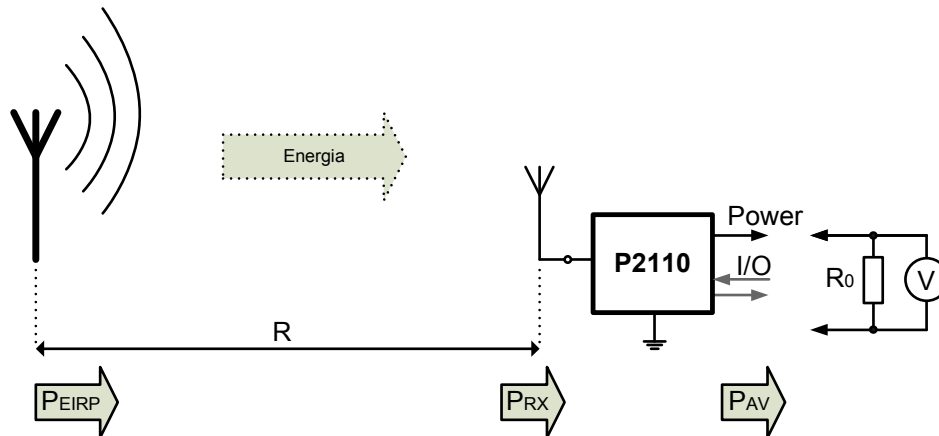
Fig. 3. Functional block diagram of P2110 Powerharvester

W przedmiotowym układzie można wyróżnić trzy główne bloki funkcjonalne: prostownik mikrofalowy RF-DC, konwerter podwyższający napięcie

i monitor napięcia. Zasadniczą częścią, odpowiedzialną za efektywne pozyskanie energii jest prostownik mikrofalowy, który wraz z impedancyjnie dopasowaną anteną, dołączoną na zewnątrz (RF_{IN}), tworzy antenę prostującą. Pozyskana energia może być gromadzona w zewnętrznym kondensatorze dołączonym do wyprowadzenia V_{cap} . Po przetworzeniu energii (RF-DC), na tej końcówce pojawia się napięcie stałe, które umożliwia ładowanie zewnętrznego magazynu. Poziom tego napięcia kontrolowany jest za pomocą monitora napięcia. Jego podstawowym zadaniem jest sygnalizacja określonego poziomu napięcia poprzez utrzymanie konkretnego stanu logicznego na wyprowadzeniu INT oraz włączenie/wyłączenie wewnętrznego konwertera podwyższającego napięcie w zależności od wymuszonego z zewnątrz poziomu logicznego na terminalu RESET. Celem konwertera podwyższającego napięcie jest podniesienie poziomu napięcia dostępnego na końcówce V_{CAP} do użytecznej wartości (zwykle 3,3 V), determinowanej przez dołączony z zewnątrz rezystor do wyprowadzenia V_{SET} . Należy zaznaczyć, że jego praca rozpoczyna się po przekroczeniu napięcia V_{CAP} wartości 1,25 V i trwa dopóki nie spadnie ona poniżej poziomu 1,02 V. Szybkość spadku napięcia na dołączonym z zewnątrz kondensatorze uzależniona jest przede wszystkim od mocy pobieranej przez obciążenie. Rezystor pomiarowy R_P umożliwia dostarczenie na końcówkę D_{OUT} poziomu napięcia odpowiadającego pozyskiwanej mocy i jednocześnie pomiar z wykorzystaniem np. zewnętrznego przetwornika analogowo-cyfrowego. Jest to możliwe tylko i wyłącznie po wymuszeniu poziomu aktywnego na wyprowadzeniu D_{SET} .

3.1 Sposób przeprowadzenia pomiarów i badań eksperymentalnych

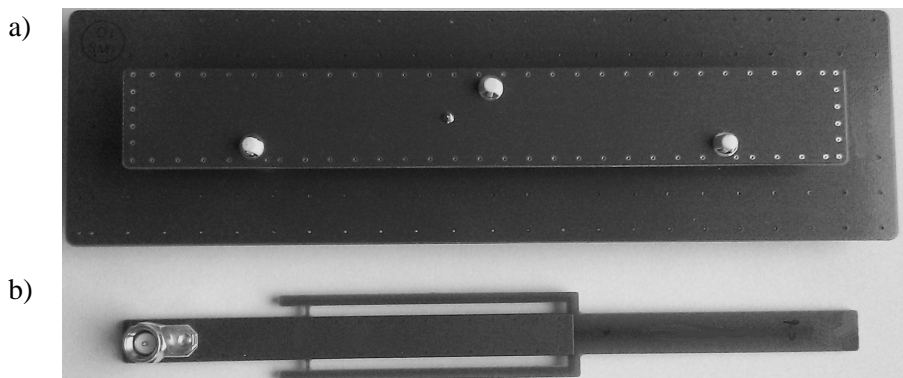
Metodologia przeprowadzenia pomiarów i badań eksperymentalnych została pokazana na rysunku 4.



Rys. 4. System transmisji i pozyskiwania energii, w którym zrealizowano pomiary.

Fig. 4. The transmission and energy harvesting system in which measurements were performed

W przyjętej metodzie pomiarowej wykorzystano źródło pola elektromagnetycznego – antenę panelową, która promieniowała z efektywną mocą izotropową (P_{EIRP}) równą 3 W. Antenę odbiorczą o zysku energetycznym G (Rys. 5.), dołączoną do układu do pozyskiwania energii, umieszczono w odległości R od źródła promieniowania elektromagnetycznego, przy zachowaniu polaryzacji pionowej oraz wzajemnej osiowosymetrycznej orientacji w obu przypadkach.



Rys. 5. Użyta antena odbiorcza: a) $G=6,1$ dBi; b) $G=1$ dBi.

Fig. 5. Used receiving antenna: a) $G=6,1$ dBi; b) $G=1$ dBi.

Celem zmniejszenia poboru energii do wejść/wyjść (I/O) układu P2110, dołączono system mikroprocesorowy, za pomocą którego, po wymuszeniu na końcówce RESET stanu wysokiego, wyłączono konwerter podwyższający napięcie. Pomiaru napięcia stałego V na obciążonym znaną rezystancją R_0 wyjściu anteny prostującej (Power) dokonano za pomocą specjalnie przygotowanego systemu umożliwiającego ciągłą rejestrację i akwizycję danych pomiarowych.

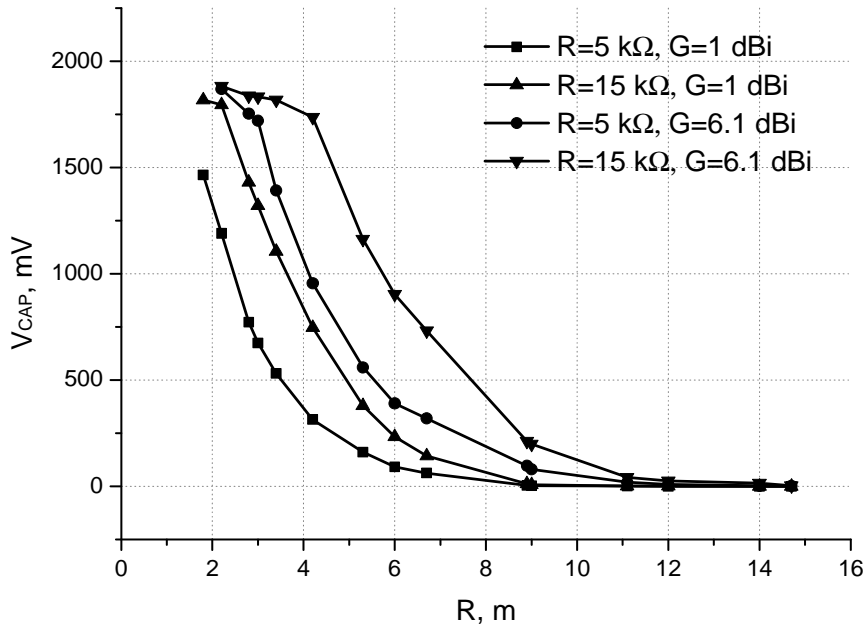
Celem zapewnienia dobrych warunków propagacyjnych badania przeprowadzono w otwartej przestrzeni tj. 1 m nad płaskim terenem, na którym w promieniu około 100 m nie występowały żadne przeszkody.

3.2 Wyniki pomiarów i obliczeń

Badania zostały przeprowadzone dla dwóch różnych anten dołączonych do układu pozyskującego energię (antena dookólna o zysku energetycznym 1 dBi oraz antena kierunkowa o zysku energetycznym 6.1 dBi, w obu przypadkach z polaryzacją pionową) i dwóch różnych wartości rezystancji R_0 obciążenia (5 k Ω i 15 k Ω).

Uśrednione wyniki dla przeprowadzonych pomiarów napięcia na wyjściu układu pokazano na rysunku 6. Zgodnie z charakterystyką, zmniejszenie odległości pomiędzy źródłem energii a układem, który ją odzyskuje, prowadzi do uzyskania większych wartości napięć na wyjściu.

Nie bez znaczenia pozostaje zysk energetyczny anteny, która ma znaczący wpływ na ilość pozyskiwanej energii. Zastosowanie anteny kierunkowej o większym zysku energetycznym prowadzi do uzyskania większej ilości energii niż w przypadku anteny dookólnej o mniejszym zysku energetycznym (przy założeniu, że wykorzystuje się wiązkę główną diagramu charakterystyki promieniowania anteny).



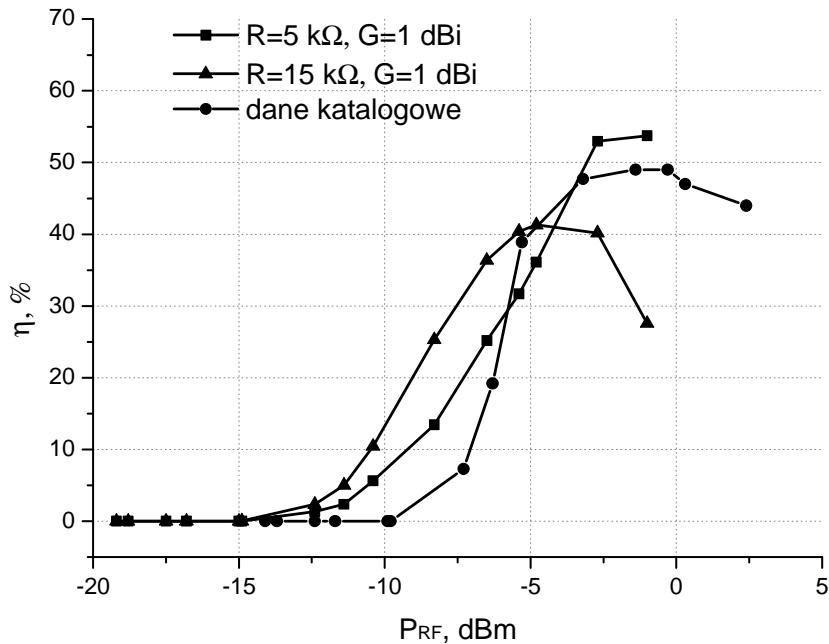
Rys. 6. Zależność napięcia V_{cap} na wyjściu układu pozyskiwania energii w funkcji odległości R od źródła promieniowania

Fig. 6. Dependence of energy harvester output voltage as a function of distance from energy source

Sprawność przetwarzania energii wyznaczono stosując zależność (4), przy czym poziom mocy dostępnej na wejściu układu pozyskiwania energii (R_{RF}) obliczono stosując równanie (3), przy założeniu idealnego dopasowania impedancyjnego pomiędzy anteną i układem P2110 oraz dopasowania polaryzacyjnego obu anten (nadawczej i odbiorczej). Charakterystyki dla dwóch różnych rezystancji obciążenia, przy zastosowaniu anteny o zysku energetycznym równym 1 dBi, pokazano na rysunku 7. Na wykresie umieszczono dodatkowo krzywą, jaką udostępnia producent. Są to jednak dane mało informacyjne, gdyż nie zawierają one takich parametrów, jak np. rezystancja obciążenia, istotnie wpływających na sprawność całego układu.

Zgodnie z pokazaną charakterystyką, pozyskiwanie energii jest efektywne tylko w pewnym zakresie poziomów mocy wejściowej. Dla poziomu mocy wej-

ściowej niższego niż -12 dBm układ praktycznie przestaje odzyskiwać energię. Istotny wpływ na sprawność przetwarzania ma również obciążenie układu. Użycie większych wartości rezystancji obciążenia pozwala uzyskać większą sprawność przetwarzania, ale tylko w pewnym przedziale poziomów mocy wejściowej.



Rys. 7. Sprawność przetwarzania energii układu P2110 w funkcji poziomu mocy wejściowej P_{RF}

Fig. 7. Efficiency of P2110 Powerharvester as a function of input power level P_{RF}

W przypadku zastosowanych wartości rezystancji obciążenia, układ efektywnie przetwarza energię dla poziomu mocy wejściowej większego niż -7 dBm.

4. Podsumowanie

W artykule zaprezentowano sposób doświadczalnego wyznaczenia sprawności układu (P2110) do pozyskiwania energii z pola elektromagnetycznego o częstotliwości z zakresu UHF. Badania przeprowadzono przy użyciu sztucznie wygenerowanego pola elektromagnetycznego, w oparciu o prostą metodę pomiarową, niewymagającą użycia kosztownej aparatury. Otrzymane wyniki pomiarów i obliczeń pozwoliły na ocenę efektywności przetwarzania energii pola elektromagnetycznego w badanym układzie dla zbliżonych do rzeczywistych warunków aplikacyjnych oraz przy uwzględnieniu istotnych z punktu widzenia

zastosowań, zmiennych warunków obciążenia. Sprawność przetwarzania energii jest jednym z bardziej użytecznych parametrów, które warunkują możliwość zastosowania układu w danej aplikacji. Zwiększenie efektywności przetwarzania w systemach pozyskiwania energii jest przedmiotem wielu badań i publikacji, a poruszany temat nabiera coraz większego znaczenia. Z uwagi na rosnące zapotrzebowanie na urządzenia autonomiczne energetycznie oraz nowe możliwości w zakresie zmniejszonego poboru energii, osiągniętego za pomocą ciągle rozwijających się technologii elektronicznych, konieczna jest intensyfikacja działań i poszerzenie wiedzy w obszarze nowoczesnych metod pozyskiwania energii występującej w środowisku.

W pracach badawczych wykorzystano aparaturę zakupioną w wyniku realizacji projektu „Synteza autonomicznego identyfikatora półpasywnego, dedykowanego do pracy w wielokrotnych, dynamicznych systemach RFID”, finansowanego przez NCBiR w ramach IPBS nr PBS1/A3/3/2012 (U-8795/G/PBS).

Literatura

- [1] Vullers R.J.M., Schaijk R., Doms I., Van Hoof C., Mertens R.: Micropower energy harvesting, *Solid-State Electronics*, 2009. 53(7): p. 684-693.
- [2] Yuan F.: *CMOS Circuits for Passive Wireless Microsystems*, Springer New York Dordrecht Heidelberg London, 2011.
- [3] Nasa S.H., Asefi M., Albasha L., Qaddoumi N.: *Investigation of RF Signal Energy Harvesting*, Hindawi Publishing Corporation, Active and Passive Electronic Components, 2010.
- [4] Pinuela M., Mitcheson P.D., Lucyszyn S.: Ambient RF Energy Harvesting in Urban and Semi-Urban Environments, *Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on*, 2013. 61(7): p. 2715-2726.
- [5] Jankowski-Mihułowicz P.: Field Conditions of Interrogation Zone in Anticollision Radio Frequency Identification Systems with Inductive Coupling, *Radio Frequency Identification Fundamentals and Applications, Bringing Research to Practice*, Turcu, C., INTECH, 2010.
- [6] Penella-López M.T., Gasulla-Fornier M.: *Powering Autonomous Sensors*, Springer Dordrecht Heidelberg London New York, 2011.
- [7] Jankowski-Mihułowicz P., Węglarski M.: Wyznaczanie obszaru poprawnej pracy systemów RFID działających w paśmie UHF, *Pomiary Automatyka Kontrola*, 2011. 57: p. 1469-1472.
- [8] Sudou M., Takao H., Sawada K., Ishida M.: A novel RF induced power supply system for monolithically integrated ubiquitous micro sensor nodes, *Sensors and Actuators A: Physical*, 2008. 145-146(0): p. 343-348.
- [9] Marian V., Vollaie C., Allard B., Verdier J.: Low power rectenna topologies for medium range wireless energy transfer, *Power Electronics and Applications (EPE 2011), Proceedings of the 2011-14th European Conference on*. 2011.

- [10] Jankowski-Mihułowicz P., Węglarski M.: Wyznaczenie czułości chipu identyfikatora przeznaczonego do pracy w propagacyjnych systemach RFID pasma UHF, *Pomiary Automatyka Kontrola*, 2012. 58(11): p. 956-958.
- [11] Powercast Corporation:Product Datasheet, 2010.

EVALUATION OF ENERGY CONVERSION EFFICIENCY OF ELECTROMAGNETIC FIELD IN THE P2110 POWERHARVESTER FOR UHF FREQUENCY BAND

Summary

The aim of this article was to present the investigation results of the energy conversion efficiency in Powercast P2110 Powerharvester. In this subject the aspect of low power energy harvesting has been included. The energy potential of the surrounding environment, the elimination of environmental threats, as well as the increased functionality of electronic modern systems are crucial factors that suggest development effective solutions in the scope of harvesting, processing and energy storing. The energy harvesting technique is useful in many various areas of human social-economic activity. During last years, there was an increase of the electromagnetic fields level observed in the environment. These fields are produced by various types of communications systems. The energy which is transmitted can be harvested and utilized for purpose not associated with the mentioned systems. Currently, there are no effective solutions to energy conversion fields at very low power level and a high variability of these levels. One of the few commercially available solutions to convert rf energy is the Powercast P2110 Powerharvester. The experimental methods of determining energy conversion efficiency in such circuit were presented in this paper. The used methods do not require advanced measurement. The electromagnetic field was generated for research. In the created electromagnetic environment P2110 Powerharvester was placed. A change of distance between the antenna generating an electromagnetic field and P2110 Powerharvester enabled implementation of measurements and estimation the influence of input power level on the energy conversion efficiency at the condition similar to the real application conditions. According to the results, the relative high efficiency is observed for input power level greater than -7 dBm. The load resistance has a significant impact on the efficiency of the process. Generally, load increase causes a reduction in the value of of efficiency value.

Keywords: radio frequency energy harvesting, RF-DC energy conversion, energy conversion efficiency, energy harvester

DOI: 10.7862/re.2013.21

Tekst złożono w redakcji: październik 2013
Przyjęto do druku: grudzień 2013