

## Zastosowanie specjalizowanych układów scalonych w systemach bezprzewodowego przesyłu energii elektrycznej

**Streszczenie.** W artykule omówiono wybrane zagadnienia związane z projektem i praktyczną realizacją bezprzewodowego systemu przesyłu energii elektrycznej (zasilania bezprzewodowego). Przeznaczony on jest do ładowania akumulatora zasilającego urządzenie mierzące siły Mięśni Dna Miednicy (Mięśnie Kegla) stosowanego w walce z inkontynencją (nieprzyjęciem moczu). Dokonano krótkiego przeglądu standardów, obszarów aplikacyjnych oraz wybranych dedykowanych układów scalonych stosowanych w tego typu systemach. Zaprezentowano schemat blokowy oraz ideowy prezentowanego systemu, jego wybrane czony oraz uzyskane wyniki badań. Szczegóły dotyczące urządzenia mierzącego siły Mięśni Dna Miednicy są obecnie ze względu na prowadzone procedury patentowe objęte klauzulą poufności.

**Abstract.** This paper present some selected issues related to the project and show practical realization of the wireless electrical energy transfer system (wireless power supply). It is dedicated for charging a rechargeable battery that supplies power to the pelvic floor muscle (Kegel muscles) force measuring device which is used in treatment of urinary incontinence (involuntary urination). Brief overview of the standards, application scope and dedicated integrated circuits used in this kind of systems were presented. Block diagram and electrical circuit of the discussed system, its selected elements and obtained results were showed. Details related to the pelvic floor muscle force measuring device are currently under the confidentiality clause due to the patent pending procedures. "Implementation of specialized integrated circuits in wireless electrical energy transfer systems."

**Słowa kluczowe:** bezprzewodowy system przesyłu energii elektrycznej, standardy ładowania bezprzewodowego, specjalizowany układ scalony, urządzenie mierzące siły Mięśni Dna Miednicy.

**Keywords:** wireless electrical energy transfer system, wireless charging standards, specialized integrated circuit, device for measure force of pelvic floor muscles.

### Wstęp

Powszechnie uważa się, że, bezprzewodowe systemy przesyłu energii elektrycznej to technologia ostatnich lat. Tymczasem już w roku 1894 w Colorado Springs Nikola Tesla opracował i zrealizował system do zasilania bezprzewodowego oświetlenia elektrycznego swojego laboratorium, udowadniając tym jej realność. Od tego czasu przez wiele kolejnych lat następował w niej niewielki postęp, dopóki niedawny rozwój urządzeń mobilnych, a zwłaszcza telefonów komórkowych nie przeniósł tej technologii na pierwszy plan. Podyktowane to było głównie wygodą dla użytkowników.

Technologia ta znajduje również zastosowanie w zasilaniu urządzeń elektroniki medycznej, specjalistycznych lamp przenośnych itp. jak również tych niewyposażonych w akumulatory. Ostatnio prowadzone są również prace związane z bezprzewodowym ładowaniem baterii akumulatorów stosowanych w samochodach elektrycznych [1].

Na przestrzeni ostatnich lat obserwuje się szereg prac nad wprowadzeniem standaryzacji tych systemów pozwalającej na stosowanie jednej ładowarki bezprzewodowej do wielu urządzeń.

Zestawienie tych standardów zebrano w tabeli 1 opracowanej na podstawie poz.[2] i [3].

Tabela 1. Zestawienie standardów systemów ładowania bezprzewodowego i ich wybranych parametrów

STANDARDY ŁADOWANIA BEZPRZEWODOWEGO			
Organizacja	Wireless Power Consortium (Qi)	AirFuel Alliance	AirFuel Alliance Resonant
Technologia	Indukcyjna	Indukcyjna	Rezonansowa
Zakres częstotliwości	80-300 kHz	200-300 kHz	6.78 MHz
Moc maksymalna	15 ÷ 2000 W	5 W	70 W
Maksymalna odległość	5 mm	5 mm	50 mm
Liczba odbiorników	1	1	Wiele
System komunikacji	Modulacja obciążenia	Modulacja obciążenia	Bluetooth

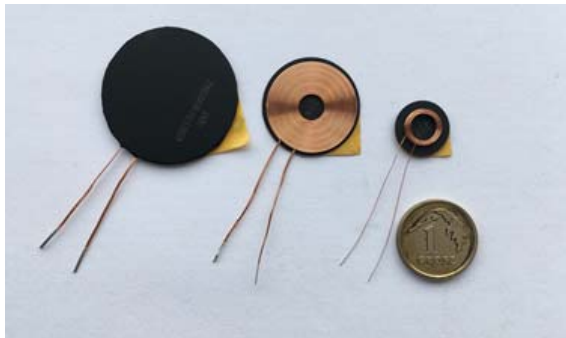
Bardzo istotnym elementem systemów jest zestaw sprzężonych magnetycznie cewek, którego analizę przeprowadzono w poz. [4].

Komercyjne tego typu elementy indukcyjne są produkowane przez specjalizowane firmy. Ich przykładowy wygląd zewnętrzny pokazano na rysunku 1.

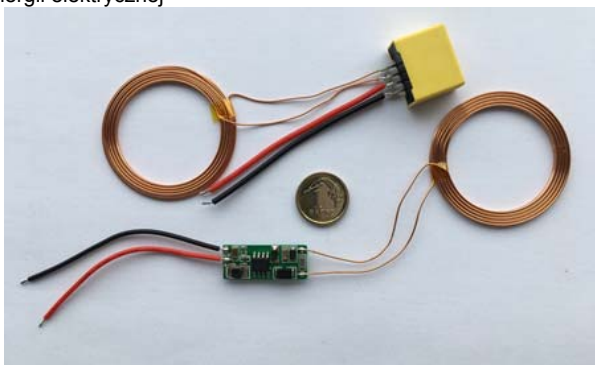
Na rynku dostępne są zarówno produkowane przez wiele firm specjalizowane układy scalone pozwalające na uproszenie prac projektowych oraz miniaturyzację systemów jak i komercyjne gotowe produkty służące do bezprzewodowego przesyłu energii elektrycznej.

Na rysunku 2 pokazano wygląd zewnętrzny wybranego komercyjnego systemu bezprzewodowego przesyłu energii elektrycznej (nadajnik plus odbiornik) o napięciu wyjściowym 5 V i wydajności prądowej 0,5 A. Napięcie wejściowe systemu wynosi 5 ÷ 12 V System pracuje poprawnie przy odległości pomiędzy cewkami do 7 mm. Sprawność przesyłu energii wynosi ok. 50 %.

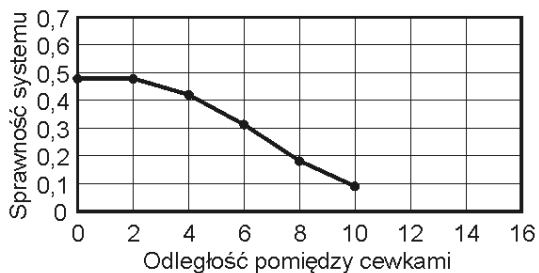
Na rysunku 3 pokazano otrzymaną w wyniku pomiarów własnych zależność sprawności systemu od odległości cewek nadajnika i odbiornika wyrażonej w milimetrach.



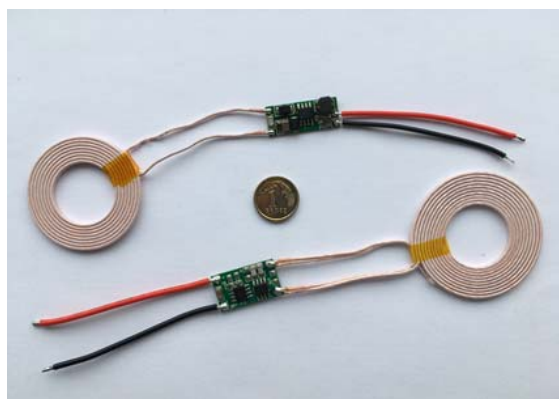
Rys. 1. Wygląd zewnętrzny komercyjnych elementów indukcyjnych dla potrzeb systemów bezprzewodowego przesyłu energii elektrycznej



Rys. 2. Wygląd zewnętrzny komercyjnego bezprzewodowego systemu przesyłu energii elektrycznej (nadajnik plus odbiornik) o napięciu wyjściowym 5 V i wydajności prądowej 0,5 A



Rys. 3. Zależność sprawności systemu od odległości cewek nadajnika i odbiornika wyrażonej w [mm] (pomiar własny)



Rys. 4. Wygląd zewnętrzny komercyjnego bezprzewodowego systemu przesyłu energii elektrycznej (nadajnik plus odbiornik) o napięciu wyjściowym 5 V i wydajności prądowej 1 A

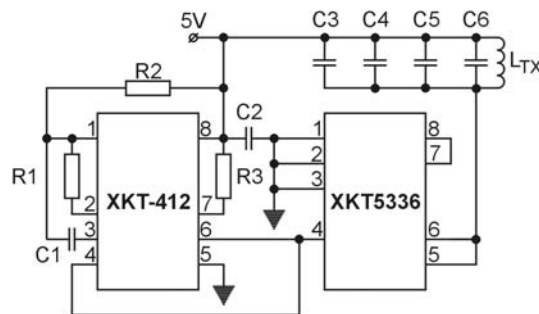
Na rysunku 4 pokazano wygląd zewnętrzny wybranego komercyjnego bezprzewodowego przesyłu energii elektrycznej (nadajnik plus odbiornik) o napięciu wyjściowym 5 V i wydajności prądowej 1 A. Napięcie

wejściowe systemu wynosi 5 V. System pracuje poprawnie przy odległości pomiędzy cewkami od 2 do 10 mm. Zastosowana technika rezonansowego sprzężenia magnetycznego pozwoliła na uzyskanie sprawności przesyłu dochodzącej do 65 %. Systemy te dostępne są na rynku polskim w cenie ok. 30 zł. brutto i na rynku dalekowschodnim w cenie ok. 6 USD.

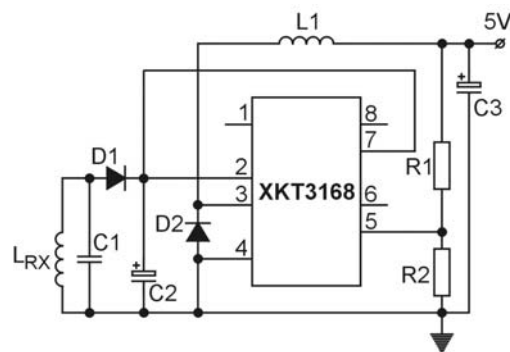
### Przegląd wybranych rozwiązań układowych

Rysunek 5 pokazuje schemat ideowy rozwiązania układowego bazującego na specjalizowanych układach scalonych serii XKT [5], którego wygląd zewnętrzny był pokazany na rysunku 4. Rozwiązanie to cechuje niezwykła prostota aplikacyjna. Wadą w wielu przypadkach jest brak członu odpowiedzialnego za realizację kontroli procesu ładowania.

a)

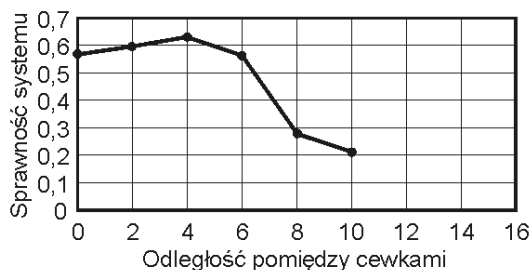


b)



Rys. 5. Schemat ideowy bezprzewodowego systemu przesyłu energii elektrycznej pokazanego na rysunku 4, (a) część nadawcza i (b) część odbiorcza

Na rysunku 6 pokazano otrzymaną w wyniku pomiarów własnych zależność sprawności systemu od odległości cewek nadajnika i odbiornika wyrażonej w milimetrach.

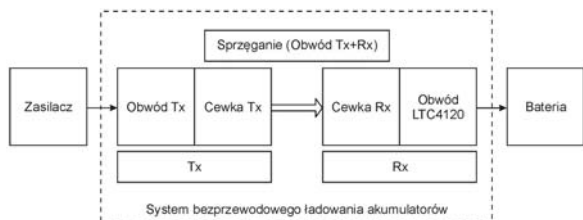


Rys. 6. Zależność sprawności systemu zbudowanego w oparciu o układy XKT412/XKT5336/XKT3168 od odległości cewek nadajnika i odbiornika wyrażonej w [mm] (pomiar własny)

Przeprowadzone przez autorów pomiary pozwoliły również na porównanie dwóch sposobów ładowania telefonu komórkowego z akumulatorem o pojemności 1800 mAh. W przypadku pełnego cyklu ładowania telefonu

bezpośrednio przez gniazdo micro USB zużycie energii wynosiło 8,351 Wh co daje nam zużycie energii w skali roku na poziomie 3,06 kWh, a w przypadku ładowania bezprzewodowego 14,24 Wh co w skali roku daje 5,19 kWh. Doświadczenie to pokazuje jak bardzo niedoskonałe jest to rozwiązanie gdzie obecnie we wszystkich dziedzinach dąży się do jak największej energooszczędności. Nie jest to oczywiście problemem w przypadku jednego telefonu, ale w przypadku miliona telefonów to aż 2000 MWh.

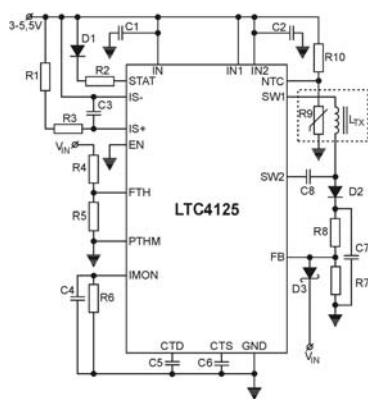
Schemat blokowy kolejnego systemu bezprzewodowego przesyłu energii elektrycznej bazującego na układach LTC 4125/LTC 4120 przedstawiono na rysunku 8.



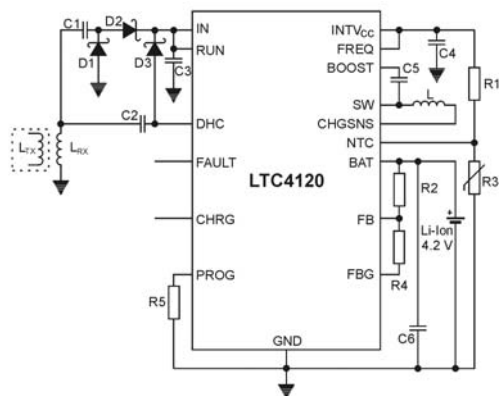
Rys. 7. Schemat blokowy systemu bezprzewodowego przesyłu energii elektrycznej

Schemat ideowy części nadawczej systemu przedstawiono na rysunku 8a, natomiast części odbiorczej na rysunku 8b. Producent przewiduje również możliwość realizacji części nadawczej w oparciu o elementy dyskretne oraz trzy wersje części odbiorczej zbudowane w oparciu o układy LTC 4120, LTC 4123 i LTC 4071 dedykowane do różnych typów akumulatorów. Rozwiązanie to nie jest wyposażone w system komunikacji odbiornik-nadajnik natomiast gwarantuje funkcję optymalnej charakterystyki ładowania akumulatora.

a)

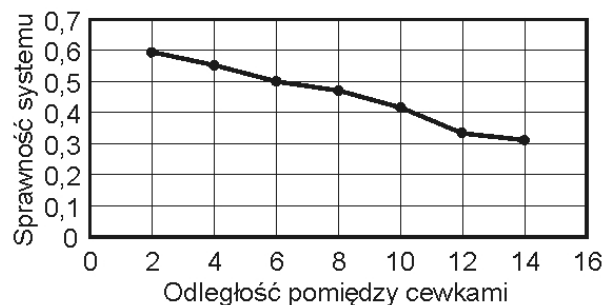


b)



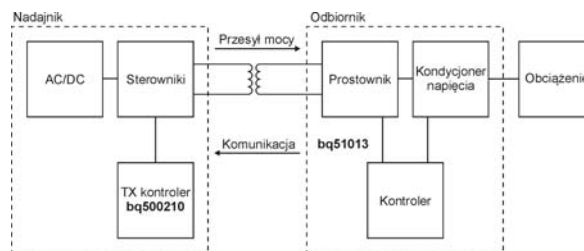
Rys. 8. Schemat ideowy bezprzewodowego systemu przesyłu energii elektrycznej bazującego na specjalizowanych układach scalonych serii LTC, (a) część nadawcza i (b) część odbiorcza

Na rysunku 9 pokazano otrzymaną w wyniku pomiarów własnych zależność sprawności tego systemu od odległości cewek nadajnika i odbiornika wyrażonej w milimetrach.

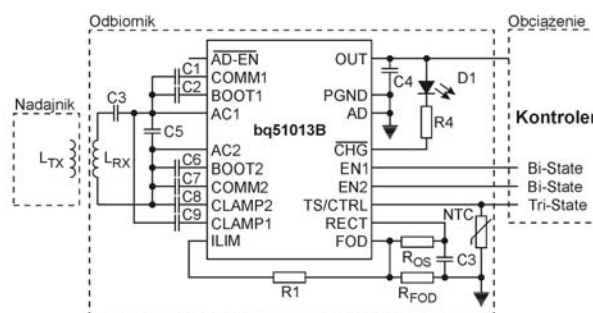


Rys. 9. Zależność sprawności systemu zbudowanego w oparciu o układy LTC4125/LTC4120 od odległości cewek nadajnika i odbiornika wyrażonej w [mm] (pomiar własny)

Kolejny system bezprzewodowego przesyłu energii elektrycznej bazuje na układach serii bq Jego schemat blokowy przedstawiono na rysunku 10, natomiast schemat ideowy odbiornika na rysunku 11. Jego zaletą jest możliwość komunikacji pomiędzy odbiornikiem a nadajnikiem natomiast wadą jest brak kontrolera optymalizującego proces ładowania akumulatora. Nie jest to problemem w przypadku ładowania telefonów komórkowych natomiast w naszym przypadku było to dużym utrudnieniem.

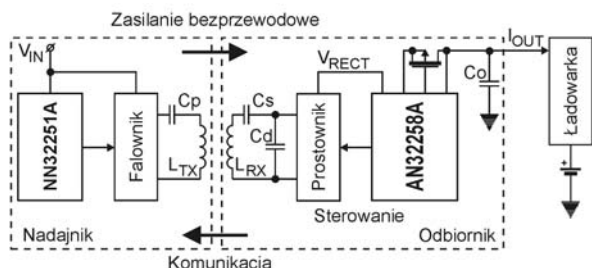


Rys. 10. Schemat blokowy systemu bezprzewodowego przesyłu energii elektrycznej bazującego na układach serii bq

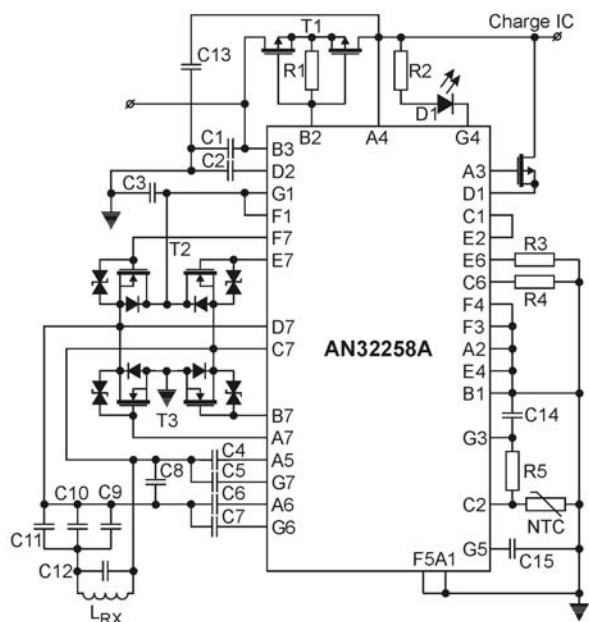


Rys. 11. Schemat ideowy odbiornika systemu bezprzewodowego przesyłu energii elektrycznej bazującego na układzie bq 51013B [7]

Schemat blokowy systemu bezprzewodowego przesyłu energii elektrycznej bazującego na układach NN32251A/AN32258A przedstawiono na rysunku 12 natomiast schemat ideowy części odbiorczej na rysunku 13. Wady i zalety tego rozwiązania są podobne jak rozwiązania bazującego na układach bq.



Rys. 12. Schemat blokowy systemu bezprzewodowego przesyłu energii elektrycznej bazującego na układach typu NN32251A oraz AN32258A



Rys. 13. Schemat ideowy odbiornika systemu bezprzewodowego przesyłu energii elektrycznej bazującego na układzie AN32258A

### Analiza wybranego rozwiązania

Na bazie analizy powyższych rozwiązań układowych podjęto decyzję o zastosowaniu rozwiązania bazującego na układach LTC4125/LTC4120 do realizacji bezprzewodowego ładowania akumulatora zasilającego urządzenie mierzące siły Mięśni Dna Miednicy. Podstawą tej decyzji głównie była prostota aplikacyjna pozwalająca na spełnienie wymagań dotyczących wymiarów systemu oraz funkcja optymalnej charakterystyki ładowania akumulatora gwarantująca jego długą i niezawodną eksploatację.

### Wnioski końcowe

Bezprzewodowe systemy przesyłu energii elektrycznej, pomimo że miały być przełomem w elektronice zapewniającym głównie wygodę użytkownika zostały wdrożone komercyjnie jedynie w kilku wybranych modelach telefonów komórkowych oraz elektronarzędziach firmy Bosch. Na uwagę zasługuje tu zasygnalizowany wcześniej problem kolizji z energooszczędnością. Są natomiast często one przedmiotem projektów naukowo badawczych poświęconych tematyce urządzeń elektroniki medycznej zwłaszcza tam gdzie istotnym jest zachowanie sterylności urządzenia albo konieczności ingerencji chirurgicznej niezbędnej dla wymiany baterii zasilającej. Uproszczeniu ulega tu również problem odizolowania galwanicznego

urządzenia od sieci energetycznej. Celowym jest również stosowanie ich w urządzeniach iskrobezpiecznych [9].

### Podziękowania

Powyższe prace zrealizowano w ramach umowy nr RPMA.01.02.00-14-5669/16-00 o dofinansowanie projektu „Partnerskie prace badawczo-rozwojowe firmy Pelvifly Sp. z o.o. i jednostki Instytut Technologii Elektronowej prowadzące do stworzenia w ramach pierwszej produkcji innowacyjnego systemu do rehabilitacji mięśni dna miednicy kobiet z uwzględnieniem wyprodukowania sondy dopochwowej, platformy telemedycznej i aplikacji mobilnej” współfinansowanego z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach: Osi Priorytetowej I „Wykorzystanie działalności badawczo-rozwojowej w gospodarce” Działania 1.2 „Działalność badawczo-rozwojowa przedsiębiorstw” Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Mazowieckiego na lata 2014-2020.

**Autorzy:** mgr inż. Grzegorz Kołasczyński, Sieć Badawcza Łukasiewicz - Instytut Technologii Elektronowej Oddział w Krakowie, ul.Zabłocie 39, 30-701 Kraków, E-mail: [kolasczynski@ite.waw.pl](mailto:kolasczynski@ite.waw.pl); dr inż. Piotr Guzdek, Sieć Badawcza Łukasiewicz - Instytut Technologii Elektronowej Oddział w Krakowie, ul.Zabłocie 39, 30-701 Kraków, E-mail: [pguzdek@ite.waw.pl](mailto:pguzdek@ite.waw.pl); dr inż. Ewa Klimiec, Sieć Badawcza Łukasiewicz - Instytut Technologii Elektronowej Oddział w Krakowie, ul.Zabłocie 39, 30-701 Kraków, E-mail: [eklimiec@ite.waw.pl](mailto:eklimiec@ite.waw.pl); mgr Piotr Maćków, Sieć Badawcza Łukasiewicz - Instytut Technologii Elektronowej Oddział w Krakowie, ul.Zabłocie 39, 30-701 Kraków, E-mail: [pmackow@ite.waw.pl](mailto:pmackow@ite.waw.pl); mgr inż. Jacek Piekarski, Sieć Badawcza Łukasiewicz - Instytut Technologii Elektronowej Oddział w Krakowie, ul.Zabłocie 39, 30-701 Kraków, E-mail: [jpiekarski@ite.waw.pl](mailto:jpiekarski@ite.waw.pl); Artur Polak, Sieć Badawcza Łukasiewicz - Instytut Technologii Elektronowej Oddział w Krakowie, ul.Zabłocie 39, 30-701 Kraków, E-mail: [apolak@ite.waw.pl](mailto:apolak@ite.waw.pl); dr inż. Wojciech Grzesiak, Sieć Badawcza Łukasiewicz - Instytut Technologii Elektronowej Oddział w Krakowie, ul.Zabłocie 39, 30-701 Kraków, E-mail: [grzesiak@ite.waw.pl](mailto:grzesiak@ite.waw.pl)

### LITERATURA

- [1] Chwei-Sen Wang, Grant A. Covic, Senior Member, IEEE, and Oskar H. Stielau, *Power Transfer Capability and Bifurcation Phenomena of Loosely Coupled Inductive Power Transfer Systems*, IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, VOL. 51, NO. 1, FEBRUARY 2004, pp.148-157
- [2] Witryna internetowa: <https://www.electronicdesign.com/power/wireless-battery-charging-not-just-smartphones>, dostęp luty 2019
- [3] Monika Jaworowska, *Bezprzewodowe ładowanie- standardy i ich implementacje*, Elektronik Luty2018, s.58-61
- [4] Kurzawa M., Wojciechowski R. M., *Analiza układu bezprzewodowego przesyłu energii z szeregowo – szeregowym obwodem rezonansowym*, Poznan University of Technology Academic Journals. Electrical Engineering, Issue 86, 2016, s. 241-253
- [5] Witryna internetowa: <https://kamami.pl/13479-zasilanie-bezprzewodowe>, dostęp luty 2019
- [6] Witryna internetowa: <https://www.analog.com/en/products/power-management/battery-management/wireless-power-transfer.html>, dostęp luty 2019
- [7] Witryna internetowa: <http://www.ti.com/product/BQ51013B>, dostęp luty 2019
- [8] Witryna internetowa: [https://industrial.panasonic.com/content/data/SC/ds/ds4/AN32258A\\_E.pdf](https://industrial.panasonic.com/content/data/SC/ds/ds4/AN32258A_E.pdf), dostęp luty 2019
- [9] C. Worek, „A contactless battery power supply system with bidirectional energy transfer”, *Przegląd Elektrotechniczny*, ISSN 0033-2097, R. 89 NR 3b/2013, s.273-275