

Michał FILIPIAK*
Damian GŁUCHY*

ANALIZA WYBRANYCH UKŁADÓW W TECHNICIE BEZPRZEWODOWEGO PRZESYŁU ENERGII ELEKTRYCZNEJ

Streszczenie: W artykule przedstawiono podstawowe układy umożliwiające przesyłanie energii elektrycznej bezprzewodowo przy użyciu zjawiska indukcji elektromagnetycznej. Na wstępie przedstawiono sposób zasilania urządzeń elektronicznych oraz przykład stosowaniu podkładek indukcyjnych. Przedstawiono początki powstania oraz inicjatora tej technologii. W symulacjach użyto źródła napięciowe o zmiennej częstotliwości. W ten sposób zrezygnowano ze skomplikowanych układów przekształtnikowych. Przedstawiono zalety stosowania układów rezonansowych od strony zasilania w tego typu układach.

1. WSTĘP

Popularność nowoczesnych urządzeń elektrycznych codziennego użytku takich jak: telefony komórkowe, odtwarzacze muzyczne, przenośne konsole gier są nieodzowne w naszym życiu. Coraz większe zapotrzebowanie na tego typu urządzenia wiąże się z potrzebą gromadzenia dużej ilości energii elektrycznej w bateriach. Postęp technologiczny w ostatnich latach szczególnie w dziedzinie wyświetlaczy spowodował, że wzrosła atrakcyjność oraz popyt na urządzenia elektroniczne. Skutkiem tego zapotrzebowanie na energię elektryczną jest coraz większe. Wraz z tym trendem wiąże się również rozwój w dziedzinie procesorów oraz pamięci wykorzystanych w telefonach, tabletach czy smartfonach. Możliwości dzisiejszych urządzeń mobilnych ciągle rosną, a wraz z nimi rośnie na nie popyt. Coraz więcej ludzi korzysta z Internetu poza domem będąc ciągle w ruchu sprawdzając maile oraz kontaktując się z współpracownikami. Natomiast podczas podróży coraz modniejsze staje się czytanie książek czy oglądanie filmów na urządzeniach przenośnych. Chociaż tak zaawansowana technologia jest dziś nie tylko potrzebna, ale również niezbędna posiada ona jedną wadę, którą jest bateria zasilająca. Coraz większe pojemności dzisiejszych baterii są jeszcze zbyt małe. Większość urządzeń działa na jednym ładowaniu przez kilkadziesiąt godzin. Staje się to uciążliwe gdyż praktycznie codziennie należy pamiętać o ładowaniu naszego

* Politechnika Poznańska.

urządzenia. Natomiast w nagłych przypadkach możemy skorzystać z podręcznych ładowarek czy zakupić drugą baterię, co generuje niepotrzebne dodatkowe koszty eksploatacji. Ciekawym rozwiązaniem staje się możliwość wykorzystania zasilania bezprzewodowego do ładowania urządzeń mobilnych, a wraz z postępem technologicznym stanie się również możliwe ciągle ich zasilanie. Ta technologia staje się coraz bardziej dostępna. Standaryzacja urządzeń elektrycznych pod względem jednolitych parametrów napięciowych pozwala na wykorzystanie jednego typu ładowarek. W konsekwencji jest możliwe wykorzystanie jednej ładowarki indukcyjnej, na której umieszcza się kilka urządzeń rezygnując z posiadania kilkunastu osobnych ładowarek przewodowych, a zarazem w ten sposób oszczędzamy nie tylko pieniądze, ale również środowisko. Pierwszym pomysłodawcom tej technologii był Nicola Tesla. [5]

2. POCZĄTEK ZASILANIA BEZPRZEWODOWEGO

Zapoczątkowanie przesyłu energii elektrycznej za pomocą indukcji elektromagnetyczną jest możliwe dzięki odkryciu prądu przemiennego za sprawą serbskiego wynalazcy Nicola Tesli. Nicola Tesla od najmłodszych lat znany był ze swoich niesamowitych zdolności konstruktorskich. Dostępne źródła na jego temat zawierają informację, że potrafił przewidzieć pracę urządzeń jeszcze przed budową. Jako młody student zafascynowany twórczością Tomasa Edisona zatrudnił się w jednym z oddziałów jego firmy. Jego zadaniem było zwiększenie sprawności elektrowni prądu stałego. Po roku, kiedy Nicola Tesla wykonał swoją pracę, doszedł do wniosku, że jest możliwe dalsze zwiększanie sprawności urządzenia pod warunkiem przejścia na prąd przemienny. Ta różnica w technologii podzieliła dwóch wybitnych naukowców i spowodowała, że stali się największymi wrogami. W dalszym życiu jego badania doprowadziły między innymi do powstania świetłówki, silnika elektrycznego oraz elektrowni prądu zmiennego. Kolejne jego pomysły były coraz to odważniejsze poczynając od budowy cewki wysokonapięciowej, poprzez konstrukcję radia, przesyłu energii bezprzewodowo. To tylko niektóre z jego pomysłów. Podstawy jakie zostawił Tesla po swojej pracy na temat zasilania bezprzewodowego są do dziś aktualne. Niektóre z nich dopiero zostają odtworzone i działają z niewielką sprawnością. Nie ma pewności czy pomysł przesyłania energii elektrycznej na dalekie odległości był faktem czy tylko marzeniem wielkiego konstruktora, ale dalszy postęp prac daje nadzieję na bliskie rozwiązanie podstawowych trudności konstrukcyjnych.

3. ZASADA DZIAŁANIA

Dzisiejsze konstrukcje zasilania bezprzewodowego wykorzystywane są między innymi do ładowania baterii, zasilania myszek indukcyjnych oraz w innych

urządzeniach małej mocy. Zbudowane są one z dwóch cewek wchodzących w skład transformatora powietrznego. Cewka pierwotna umieszczona jest zazwyczaj w podkładce wielkości dłoni. Natomiast druga cewka, czyli uzwojenie wtórne transformatora powietrznego umieszczona, jest w urządzeniu odbiorczym. Nadajnik zasilany jest zmiennym w czasie napięciem o częstotliwości od kilkudziesięciu do kilku mega herców. Płynący zmienny prąd w uzwojeniu pierwotnym powoduje powstanie zmiennego strumienia magnetycznego, który indukuje napięcie w odbiorniku zgodnie z prawem indukcji elektromagnetycznej. Natomiast, jeśli podłączymy odbiornik to popłynie w nim prąd o zwrocie zgodnym z regułą Lenza.

4. TRANSFORMATOR POWIETRZNY

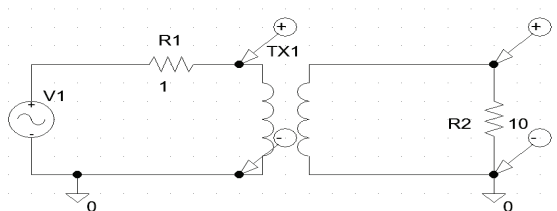
Transformatory powietrzne, możemy podzielić na transformatory rdzeniowe i bezrdzeniowe. Do przesyłu energii elektrycznej bezprzewodowo za pomocą indukcji elektromagnetycznej mają zastosowanie transformatory bezrdzeniowe. Taki transformator charakteryzuje się dużą indukcyjnością rozproszenia oraz dużymi stratami. W przypadku przesyłu energii elektrycznej jest to jak najbardziej korzystne gdyż dążymy do osiągnięcia dużych odległości między nadajnikiem a odbiornikiem energii elektrycznej. Jednak duże rozproszenie strumienia magnetycznego niesie za sobą możliwość przekroczenia dopuszczalnych norm kompatybilności magnetycznej.

5. SYMULACJE UKŁADÓW PRZESYŁU ENERGII ELEKTRYCZNEJ

Symulacje obwodów zostały wykonane w programie PSpice 9.1 w wersji studenckiej. Dane elementów elektronicznych zostały tak dobrane, aby pokazać wady i zalety stosowanych modeli przesyłu energii elektrycznej za pomocą indukcji elektromagnetycznej.

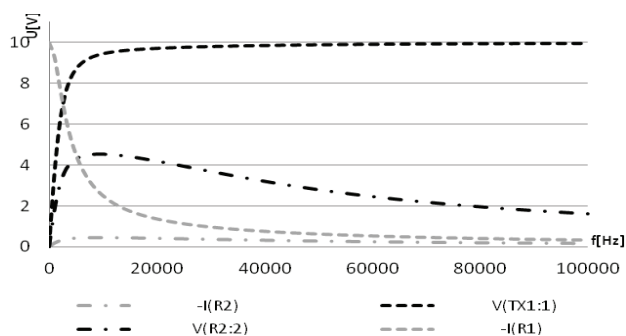
5.1. Układ RL

Schemat przedstawia transformator powietrzny obciążony rezystancją $R_2 = 10\Omega$ i zasilany napięciem $U_{AC} = 10\text{ V}$, indukcyjność uzwojenia pierwotnego $L_1 = 62\text{ uH}$ oraz wtórnego $L_2 = 62\text{ uH}$.



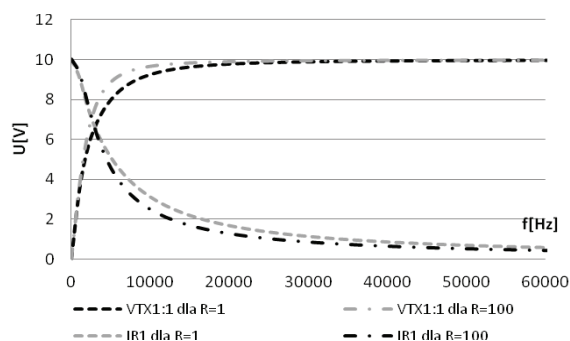
Rys. 1. Schemat obwodu transformatora powietrznego

W pierwszej kolejności zostały wykonane symulacje wpływu częstotliwości napięcia wejściowego na napięcia na odbiorniku R2 dla sprzężenia $k = 0.5$.



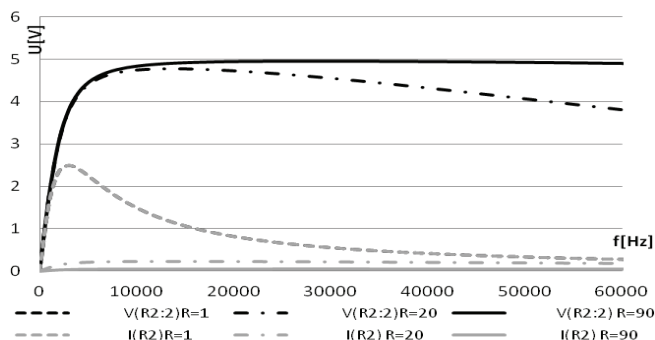
Rys. 2. Charakterystyka częstotliwości w funkcji napięcia na odbiornik i nadajniku

Rysunek 2 przedstawia przebiegi napięć i prądów w funkcji częstotliwości dla transformatora powietrznego. W zakresie częstotliwości od 0 do około 10 KHz następuje wzrost napięcia na uzwojeniu pierwotnym (9,5 V) i wtórnym (4,5 V). Następnie napięcie wejściowe ustala się do wartości równej napięciu źródłowemu natomiast napięcie na wyjściu maleje. Maksymalna wartość napięcia na odbiorniku jest niższa od połowy napięcia zasilającego ze względu na współczynnik sprzężenia cewek.

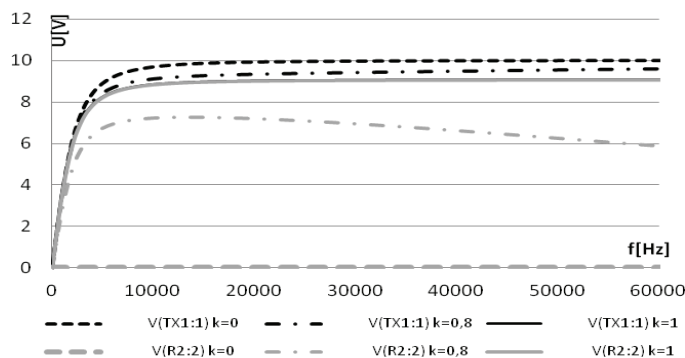


Rys. 3. Wpływ częstotliwości na napięcie i prąd wejściowy dla różnych obciążeń

Kolejna charakterystyka przedstawia przebiegi napięć i prądów na odbiorniku.



Rys. 4. Wpływ częstotliwości na napięcie i prąd odbiornika dla różnych obciążeń

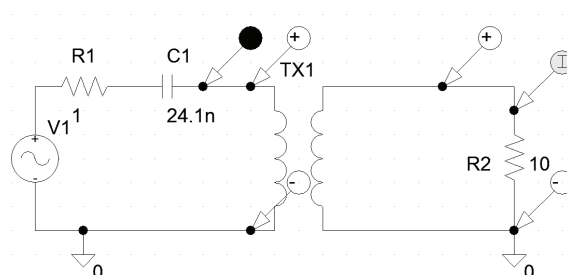


Rys. 5. Wpływ częstotliwości na wartość napięcia dla różnych wartości współczynnika sprzężeń

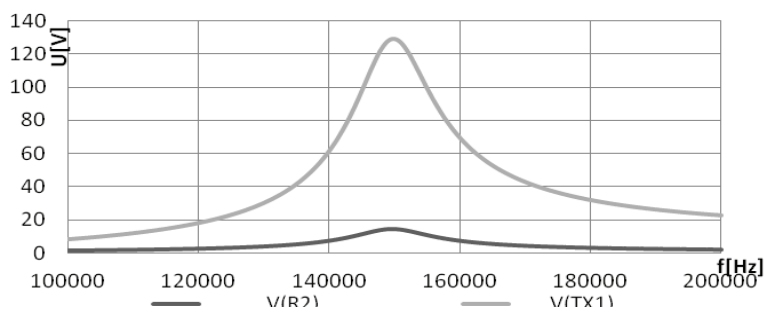
Na rys. 5 przedstawiono wpływ częstotliwości na napięcie uzwojenia pierwotnego i wtórnego przy różnych współczynnikach sprzężenia k . Jeżeli współczynnik sprzężenia cewek jest równe $k=1$ to napięcia na uzwojeniu pierwotnym i wtórnym jest równe, niezależnie od częstotliwości. W momencie, gdy współczynnik dąży do zera to napięcie na odbiorniku maleje. Dzieje się tak, gdyż indukcja wzajemna cewek maleje wraz z zwiększaniem odległości między nimi.

5.2. Układ z zastosowanym rezonans szeregowy od strony zasilającej

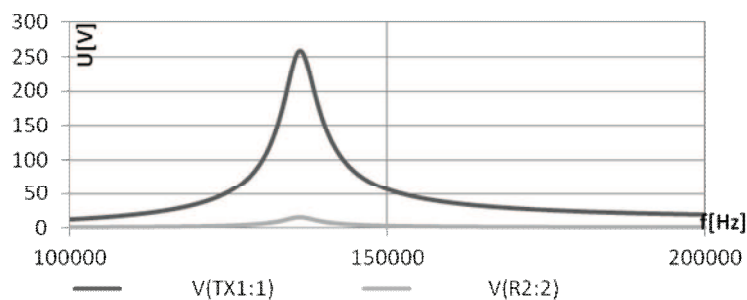
Kolejny schemat przedstawia identyczny obwód jak w punkcie 4.1 lecz z dołączono kondensator $C_1=24,1nF$ wprowadzającym rezonans w obwodzie pierwotnym. Częstotliwość pracy przyjęto z norm ISO 18000 stosowaną dla urządzeń opartych na technologii RFID (ang. *Radio-frequency identification*). Wartość kondensatora dla częstotliwości rezonansowej 150KHz dobrano ze wzoru na pulsację rezonansową.

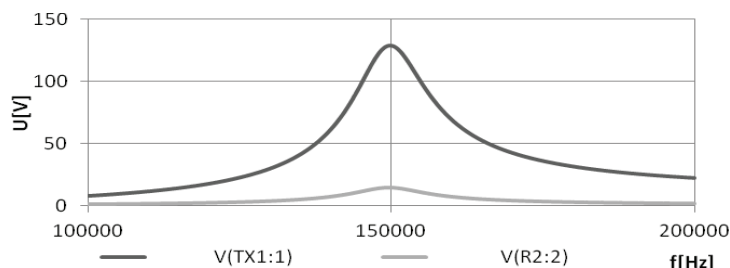


Rys. 6. Schemat obwodu transformatora powietrznego z obwodem rezonansowym

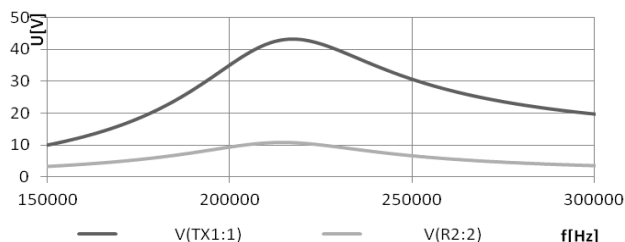
Rys. 7. Charakterystyka częstotliwości na napięcie po stronie pierwotnej i wtórnej transformatora powietrznego dla $k = 0,5$ ($U(TX1) = 129$ V, $U(R2) = 14,4$ V, $I_{R1} = 2,9$ A, $I_{R2} = 1,43$ A dla $K = 0,5$)

Kolejna charakterystyka przedstawia wpływ zmiany sprzężenia cewek na napięcie na cewce uzwojenia pierwotnego i nadajnika. Podane pomiary wykonano dla $k = 0,3$, $k = 0,5$ i $k = 0,8$.

Rys. 8. Wpływ częstotliwości na napięcia w obwodzie pierwotnym i wtórnym dla $k = 0,3$

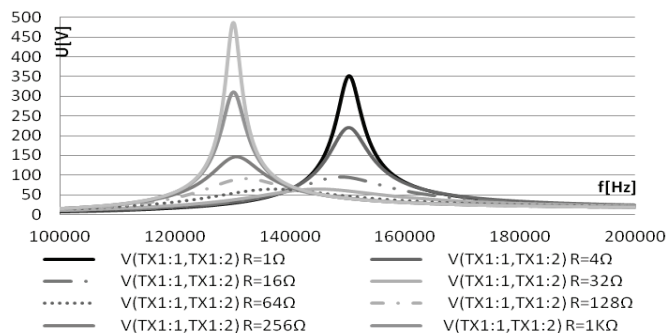


Rys. 9. Wpływ częstotliwości na napięcia w obwodzie pierwotnym i wtórnym dla $k = 0,5$



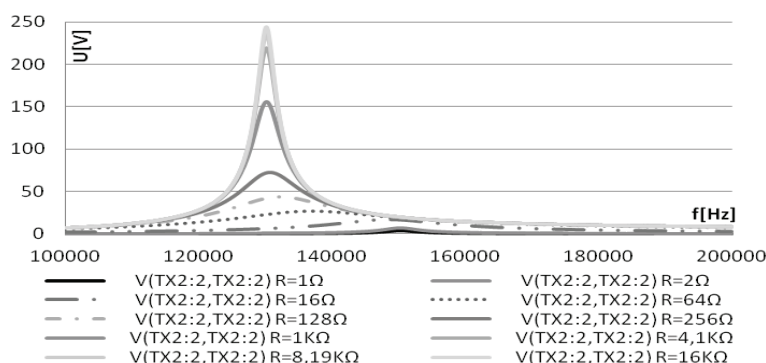
Rys. 10. Wpływ częstotliwości na napięcia w obwodzie pierwotnym i wtórnym dla $k = 0,8$

Zmiana sprzężenia cewek powoduje przesunięcie częstotliwości, w której występuje rezonans. Następstwem są zmiany wartości napięć w obwodzie odbiornika, które mogą wywołać awarię lub uszkodzenie sprzętu elektronicznego.



Rys. 11. Wpływ częstotliwości na napięcia w obwodzie pierwotnym przy współczynniku $k = 0,5$ dla różnych rezystancji obciążenia

Podłączony odbiornik o zmiennej rezystancji wprowadza zakłócenia w obwodzie pierwotnym. Napięcia na cewce w zakresie częstotliwości od około 130 KHz do 150 KHz zmienia swoją wartość. W początkowej fazie napięcie maleje do około 50V dla $R = 32 \Omega$, a następnie zaczyna wzrastać.



Rys. 12. Wpływ częstotliwości na napięcia w obwodzie wtórnym przy współczynniku $k = 0,5$ dla różnych rezystancji obciążenia

Z kolejnej charakterystyki wynika, że im wyższa rezystancja obciążenia tym napięcie na odbiorniku jest wyższe przy niższej częstotliwości.

6. PODSUMOWANIE

Wykonane symulacje w programie PSpice przedstawiające układy przesyłu energii elektrycznej za pomocą indukcji elektromagnetycznej dobrze odzwierciedlają rozkłady napięć i prądów w obwodach. Porównanie układu RL z układem rezonansowym RLC od strony zasilającej miało na celu wykazanie celowości dalszych badań w kierunku układów rezonansowych. Bardzo duże znaczenie w badanych układach ma współczynnik sprzężenia cewki pierwotnej i wtórnej. W wynikach symulacji zauważono wyraźną zmianę napięcia na odbiorniku, gdy zastosujemy różne układy zasilające. W układzie RL napięcie maleje wraz maleniem współczynnika sprzężenia magnetycznego do zera. Natomiast w układzie RLC sprzężenie dodatkowo wpływa na rezonans w układzie. Zmiana sprzężenia k powoduje zmianę indukcyjności wzajemnej i wyprowadza układ z rezonansu. W sytuacji, gdy mamy stałą częstotliwość zasilania układu zmiana indukcyjności wzajemnej powoduje obniżenie sprawności układu. Niezależnie od wartości sprzężenia napięcie na rezystancji R_2 zawsze było wyższe od układu z punktu 4.1. W układzie RL maksymalne napięcie na odbiorniku było wyłącznie dla pełnego sprzężenia cewek. Natomiast w układzie RLC już przy sprzężeniu $k = 0,5$ napięcie było równe lub nieco wyższe od napięcia zasilającego. Należy zwrócić uwagę, że w symulacjach uwzględniono również przypadek dla współczynnika sprzężenia o wartość $k = 1$. Taka sytuacja w rzeczywistości nie istnieje. Uzyskanie sprzężenia $k > 0,6$ w układzie transformatora powietrznego jest praktycznie niemożliwe ze względu na dużą indukcyjność rozproszenia.

Zmiana rezystancji obciążenia wpływa na napięcia w obwodzie pierwotnym i wtórnym. Dodatkowo w obwodzie z rezonansem zauważono, że największa wartość napięcia dla danej rezystancji występuje przy różnych częstotliwościach. Ma to związek ze zmianą impedancją obwodu pierwotnego oraz dopasowaniem odbiornika na maksymalną moc.

7. WNIOSKI

Układy rezonansowe są najbardziej efektywnymi układami (bezprzewodowego) przesyłania energii elektrycznej. Odpowiednio dobrane parametry układu RLC pozwolą działać ze znacznie większą sprawnością niż układy RL. Istnieje wiele niebezpieczeństw przy stosowaniu układów rezonansowych między innymi możliwe jest wystąpienie przepięć w obwodzie. Skutkiem takiego stanu jest uszkodzenie sprzętu elektronicznego. Brak odpowiednio zaprojektowanego układu może wywołać uszkodzenie przy zmianie odległości między cewkami. Zaletami układów RLC są wyższa amplituda napięcia i prądu na uzwojeniu wtórnym a zatem większy zasięg. Podstawą kolejnych badań nad układami bezprzewodowego zasilania stosujące układy rezonansowe będzie analiza analityczna układu.

LITERATURA

- [1] Bolkowski S.: Teoria Obwodów Elektrycznych, WNT, Warszawa 2003.
- [2] Moradewicz A., Miśkiewicz R.: Systemy bezstykowego zasilania komputerów przenośnych Prace Instytutu Elektrotechniki, zeszyt 236, 2008 str 51.
- [3] Kuen-Cheng Wang, Che-Wei Hsu Tung- Jung Chan Tsung-Shih Chien Tsair-Rong Chen Study of Applying Contactless Power Transmission System to Battery Charge PEDS2009 str. 257.
- [4] Du Guiping, Li Xiongtao, Sheng Songtao Modeling and Simulation of Contactless Power Transmission System by Inductance Coupling ISIEA 2009 str. 123.
- [5] Weronika D. Władca piorunów Elektro Trendy 01/2012(2) s120-123.

ANALYSIS CHOSEN OF WIRELESS TECHNOLOGY TRANSFER THE ELECTRICITY

The article presents the basic systems which transmit electricity wirelessly using electromagnetic induction phenomena, the first shows how to power electronic devices and an example of using inductive pads. The paper presents the beginnings of creation, and originator of this technology. The simulations used the source voltage of variable frequency. In this way, resigned from complex systems converters. Presents the advantages of using resonant circuits from the power supply in such systems.