

Artur MORADEWICZ  
Rafał MIŚKIEWICZ

## SYSTEMY BEZSTYKOWEGO ZASILANIA KOMPUTERÓW PRZENOŚNYCH

**STRESZCZENIE**      *W referacie przedstawiono schemat ideowy układu bezstykowego zasilania komputerów przenośnych. Przedstawiono typowe konstrukcje transformatorów dla tego typu układów. Omówiono model matematyczny systemu, metody sterowania oraz wybrane wyniki symulacyjne i eksperymentalne.*

**Słowa kluczowe:** *przekształtnik rezonansowy DC/DC, sprzężenie indukcyjne, bezstykowe zasilanie, bezstykowy przesył energii komputery przenośne*

### 1. WSTĘP

---

Rozwój nowych technologii przesyłu informacji takich jak *GSM, IrDA, Bluetooth, Wi-Fi* umożliwiających bezprzewodowe sterowanie różnego rodzaju urządzeń, pozwala i wywiera nacisk na udoskonalanie i opracowywanie nowych technologii bezprzewodowego przesyłu energii. Technologie bezstykowego zasilania CPS (ang. Contactless Power Transmission), nie tylko podnoszą funkcjonalność, wygodę zasilania i mobilność użytkowania pracujących urządzeń, lecz w niektórych rozwiązaniach mogą okazać się niezastąpione. Realizacja

---

**dr inż. Artur MORADEWICZ**  
e-mail: a.moradewicz@iel.waw.pl

**mgr inż. Rafał MIŚKIEWICZ**  
e-mail: r.miskiewicz@iel.waw.pl

Zakład Elektrycznych Napędów Obrabiarkowych  
Instytut Elektrotechniki

bezprzewodowego i bezstykowego łącza, umożliwiającego bezpieczny i wygodny przesył energii staje się jednym z istotnych zagadnień w dziedzinie przesyłu energii elektrycznej. Ze względu na wygodę użytkowania, układy bezstykowego zasilania urządzeń elektroniki użytkowej (telefony, drukarki, notebooki) coraz częściej znajdują zastosowanie w pomieszczeniach publicznych, gdzie pojawia się problem z dostępem do wolnych gniazd sieciowych i kablami oplatającymi miejsce pracy - biurko. Zastosowanie systemu bezstykowego zasilania CPS (ang. Contactless Power Transmission), umożliwia rozwiązanie tego problemu. System CPS zamontowany pod blatem stołów, umożliwia mobilny dostęp urządzeń takich jak np. komputery przenośne do sieci zasilającej bez konieczności używania konwencjonalnego zasilacza oraz pamiętania o nim. W systemach takich wykorzystuje się transformatory powietrzne, których uzwojenie pierwotne i wtórne wykonane są w postaci spiralnych cewek. Uzwojenie strony pierwotne zasilane jest z rezonansowego falownika napięcia. Częstotliwości pracy takich układów sięgają od kilkuset kHz do pojedynczych MHz.

## 2. TRANSFORMATORY POWIETRZNE

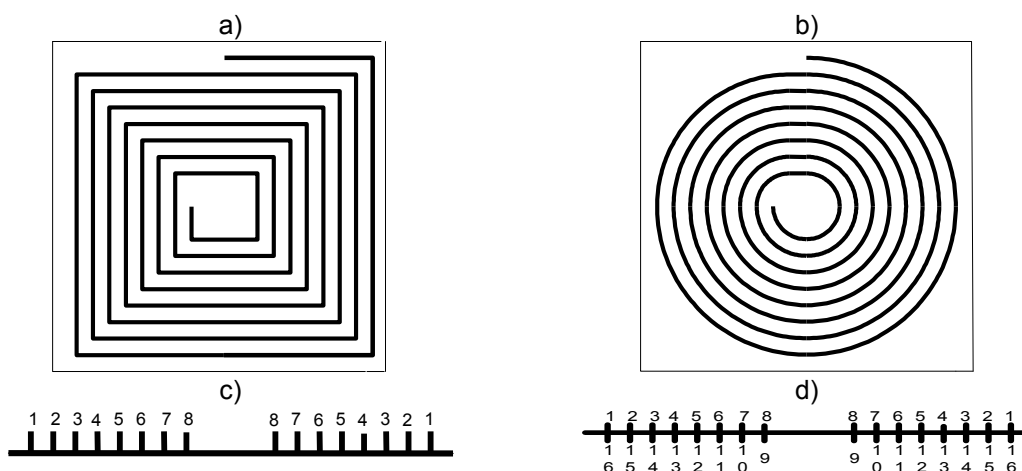
Istnieje wiele różnych rodzajów transformatorów powietrznych. W systemach bezstykowego zasilania komputerów przenośnych transformatory można podzielić (tab. 1), ze względu na rodzaj materiału i technologie wykonania uzwojeń oraz ze względu na budowę obwodu magnetycznego.

**TABELA 1**

Podział Transformatorów Powietrznych

<b>Materiał uzwojeń</b>	<b>Obwód magnetyczny</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mozaika obwodu drukowanego</li> <li>▪ Druk nawojowy</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bezrdzeniowe</li> <li>▪ Rdzeniowe</li> </ul>

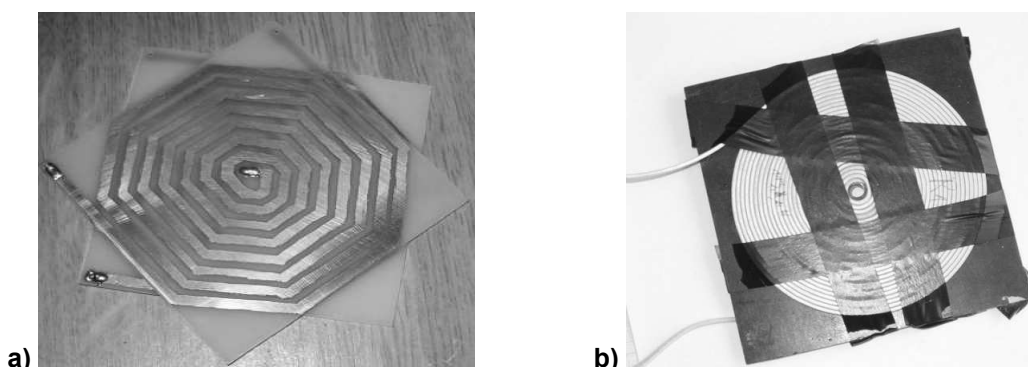
Rysunek 1 przedstawia różne przekroje oraz sposoby nawijania uzwojeń transformatora powietrzego. Wszystkie uzwojenia wykonywane są w postaci spiralnych cewek cienkowarstwowych.



**Rys. 1. Przykłady uzwojeń transformatora** a) rzut z góry uzwojenia o kształcie prostokątnym b) rzut z góry uzwojenia o kształcie owalnym c) przekrój poprzeczny uzwojenie jednowarstwowo d) przekrój poprzeczny uzwojenie dwuwarstwowo

Sposób ułożenia uzwojeń transformatora mają znaczący wpływ na indukcyjności transformatora a zarazem na sprawność i długości szczeliny powietrznej. W systemach bezstykowego zasilania komputerów przenośnych znajdują zastosowanie transformatory bezrdzeniowe, w których stosunek indukcyjności rozproszenia do indukcyjności własnej uzwojenia jest znacznie większy w porównaniu do transformatorów powietrznych z rdzeniem magnetycznym czy też rozwiązań konwencjonalnych.

Zaletą konstrukcji bezrdzeniowej jest mała waga oraz małe gabaryty, co daje możliwość integrowania tych transformatorów z komputerami nie zmieniając estetyki urządzenia oraz nie zwiększając ciężaru komputera. Transformatory wykonane w postaci obwodu drukowanego cechują się dużą rezystancją i małymi indukcyjnościami własnymi uzwojeń. W celu przystosowania ich do przenoszenia energii potrzebnej do zasilania komputera przenośnego uzwojenia łączy się równolegle w celu zmniejszenia rezystancji uzwojeń i szeregowo, aby zwiększyć indukcyjności własną.

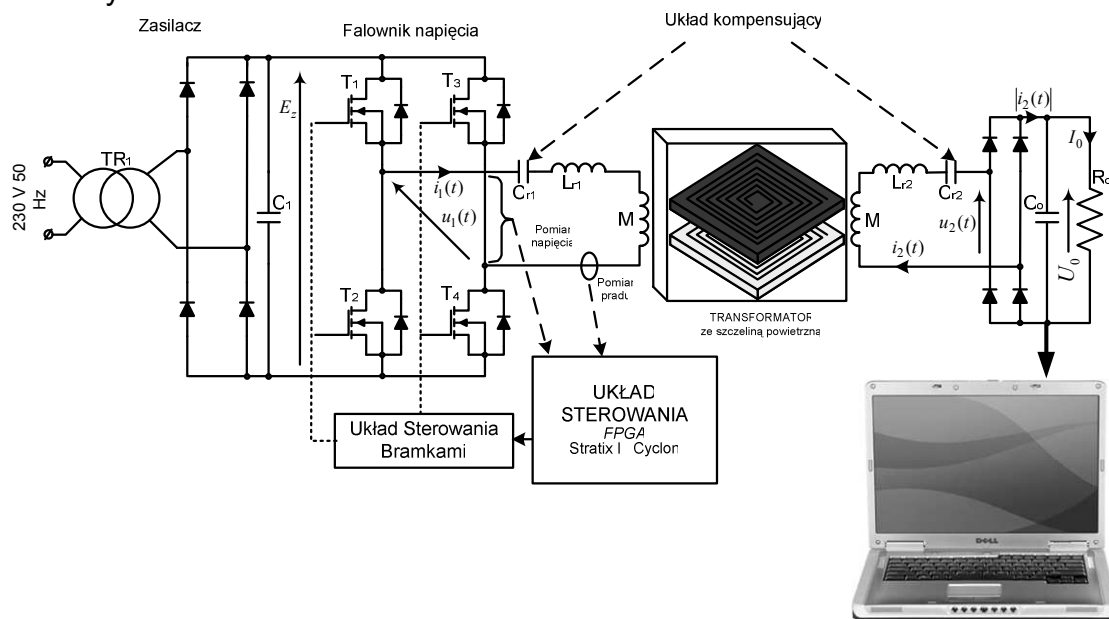


**Rys. 2. Zdjęcia wykonanych transformatorów powietrznych** a) uzwojenia w postaci obwodu drukowanego b) uzwojenia w postaci drutu nawojowego

Uzwojenia wykonane z drutu nawojowego (rys. 2.b) cechują się znacznie mniejszą rezystancją uzwojeń i większymi indukcyjnościami własnymi przy tej samej powierzchni, co uzwojenia obwodu drukowanego (rys. 2.a).

### 3. MODEL UKŁADU SYSTEMU BEZSTYKOWEGO ZASILANIA KOMPUTERA PRZENOŚNEGO

Schemat układu bezstykowego zasilania komputera przenośnego przedstawia rysunek 3.



Rys. 3. Schemat układu bezstykowego zasilania komputera przenośnego

Głównym elementem układu jest transformator powietrzny i od jego właściwości zależy sprawność przesyłu energii. W transformatorze tym (rys. 3) wyróżnić można dwie indukcyjności: rozproszenia i wzajemną. Indukcyjność rozproszenia odpowiedzialna jest za powstawanie spadków napięcia na niej i straty energii. Indukcyjność rozproszenia jest liniową zależnością współczynnika sprzężenia uzwojeń  $k$ , określana zależnością:

$$L_{r1} = L_1 - k\sqrt{L_1L_2} \quad (1)$$

Indukcyjność wzajemna reprezentuje przesył energii i określana jest zależnością

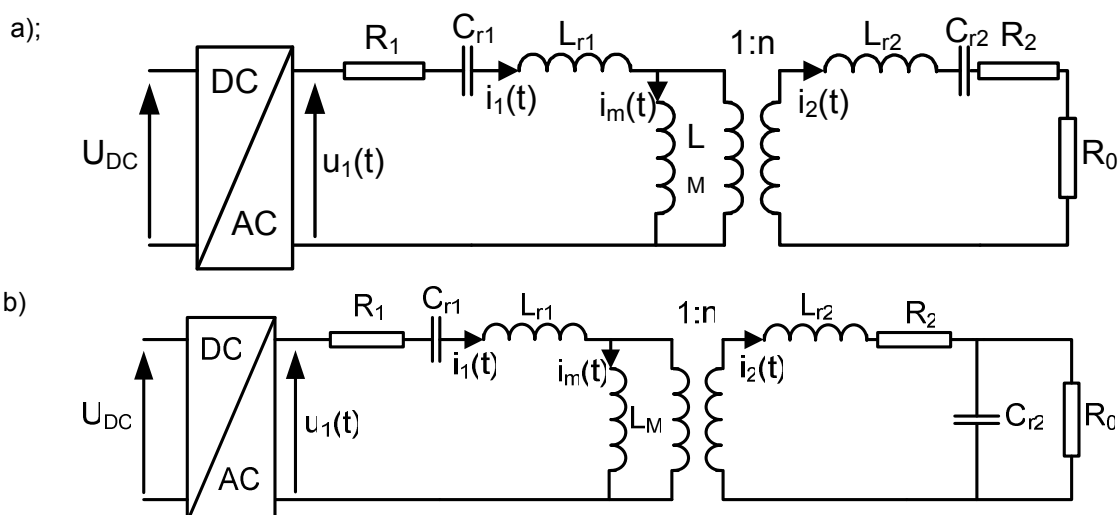
$$L_M = M = k\sqrt{L_1 L_2} \quad (2)$$

Wraz ze wzrostem szczeliny powietrznej zmniejsza się współczynnik sprzężenia uzwojeń oraz rosną spadki napięcia na indukcyjności rozproszenia ograniczając przesył energii. W celu wyeliminowania tego problemu budowane są układy rezonansowe, poprzez wprowadzanie do obwodu pojemności łączonych szeregowo bądź równoległe. Dzięki zastosowaniu kompensacji w systemach CET, w których indukcyjność rozproszenia może być większa od indukcyjności wzajemnej uzwojeń, uzyskać można znaczne zmniejszenie impedancji układu. Przekłada się to bezpośrednio na wielkość przesyłanej energii i charakterystykę całości systemu. Praca przedstawionego układu w rezonansie (3) ma kolejną zaletę, umożliwia przełączanie zaworów przekształtnika przy zerowej wartości napięcia lub prądu (ZVS - zero voltage switching, ZCS - zero current switching), co eliminuje lub znacznie zmniejsza straty komutacyjne oraz powoduje wzrost sprawności systemu.

$$\omega_o = 1/\sqrt{L_r C_r} \quad (3)$$

W układach bezstykowego zasilania komputerów przenośnych stosuje dwa rodzaje kompensacji (rys. 4):

- szeregowo-szeregowa
- szeregowo-równoległa



Rys. 4. Schematy układów kompensacji a) szeregowo-szeregowa, b) szeregowo-równoległa

Przy kompensacji szeregowo-szeregowej, pojemność rezonansowa dobierana jest jednorazowo. Kompensacja szeregowo-równoległa wymaga doboru pojemności kompensującej dla każdego współczynnika sprzężenia  $k$  i określana jest zależnością

$$C_{r1} = \frac{1}{1-k^2} C_{r2} \quad (4)$$

Charakterystyką porównawczą obu metod kompensacji jest analiza impedancji układu i transmitancji wzmocnienia układu.

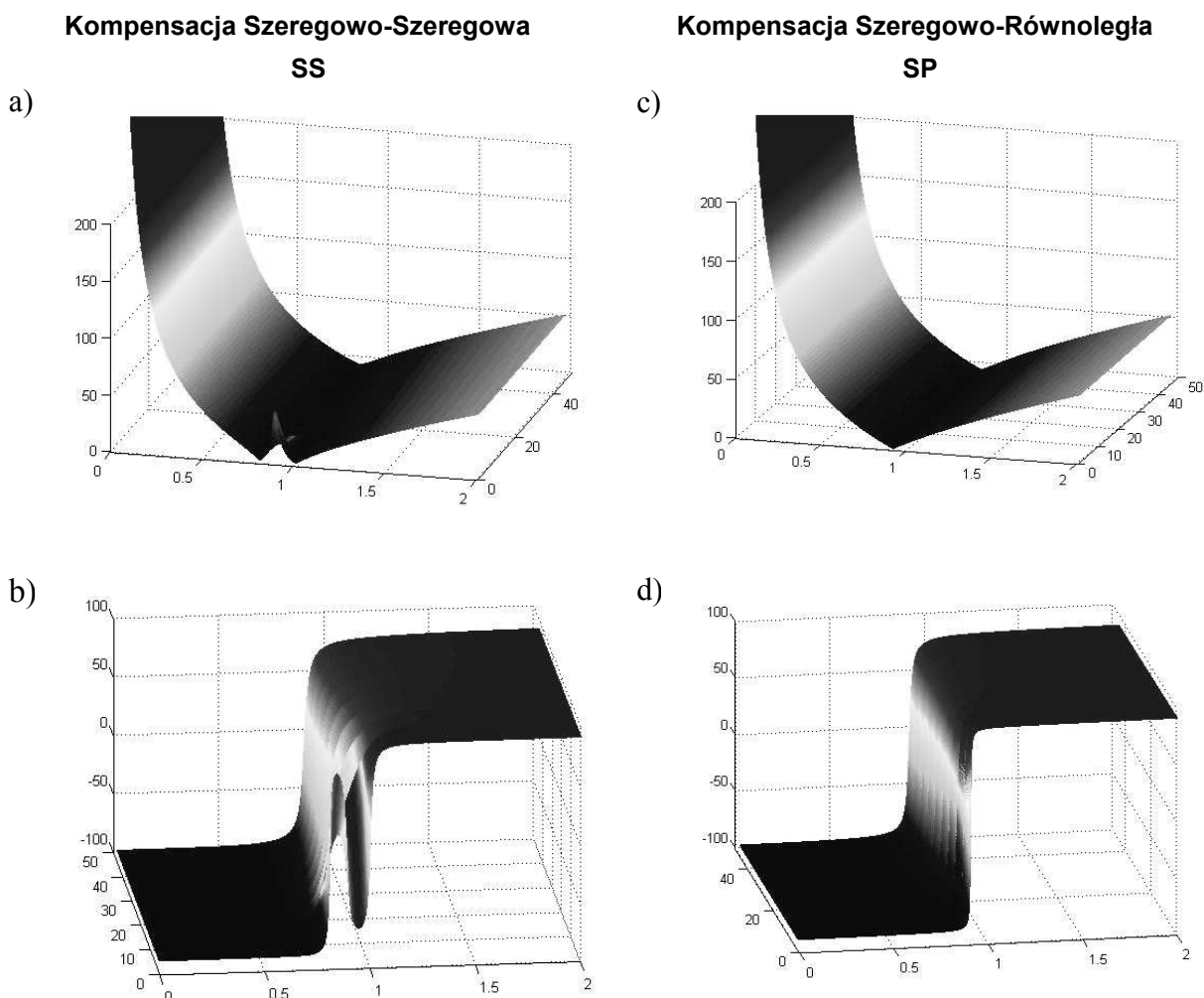
Impedancje układu dla kompensacji szeregowo-szeregowej określa zależność:

$$\underline{Z}_t = R_1 + j \left( \omega_s L_{r1} - \frac{1}{\omega C_{r1}} \right) - \frac{\omega_s^2 L_M^2}{R_0 + R_2 + j \left( \omega_s L_{r2} - \frac{1}{\omega_s C_{r2}} \right)} \quad (5)$$

Impedancja układu dla kompensacji szeregowo-równoległej przedstawia zależność:

$$\underline{Z}_t = R_1 + j \left( \omega_s L_{r1} - \frac{1}{\omega_s C_{r1}} \right) - \frac{\omega_s^2 L_M^2}{R_2 + \frac{R_0}{\omega_s^2 R_0^2 C_{r2} + 1} + j \left( \omega_s L_{r2} - \frac{\omega_s R_0 C_{r2}}{\omega_s^2 R_0^2 C_{r2} + 1} \right)} \quad (6)$$

Rysunek 5 przedstawia charakterystykę impedancyjną oraz fazową obu metod kompensacji w funkcji zmian częstotliwości  $\omega = \omega_s / \omega_o$  oraz rezystancji obciążenia  $R_o$  (dobrości obwodu rezonansowego). Oba układy kompensacji charakteryzują się tym, że przy częstotliwości rezonansowej realizowany jest największy przesył energii oraz przesunięcie fazowe pomiędzy prądem strony pierwotnej i wtórnej jest równe zero.



Rys. 5. Charakterystyka impedancyjna a,c) oraz fazowa b, d)

Kolejną charakterystyką porównawczą układów kompensacji jest analiza wzmocnienia napięciowego.

$$G_V = \frac{U_2}{U_1} = \left| \frac{Z_0 Z_M}{Z_1 Z_0 + Z_2 Z_1 - Z_M^2} \right| \quad (7)$$

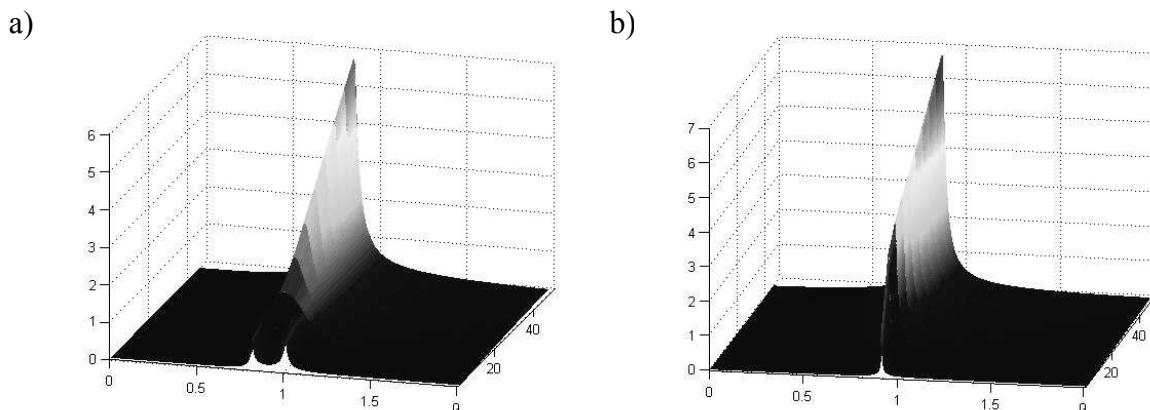
- układ równań opisujących obwód z rysunku 4.a)

$$\begin{cases} \underline{U}_1 = \underline{Z}_1 \underline{I}_1 - \underline{Z}_M (\underline{I}_1 - \underline{I}_2) \\ 0 = \underline{Z}_2 \underline{I}_2 + \underline{Z}_0 \underline{I}_2 - \underline{Z}_M (\underline{I}_1 - \underline{I}_2) \\ \underline{Z}_1 = R_1 + j\omega_s L_{r1} - j \frac{1}{\omega_s C_{r1}} \\ \underline{Z}_2 = R_2 + j\omega_s L_{r2} - j \frac{1}{\omega_s C_{r2}} \\ \underline{Z}_M = j\omega_s L_M \\ \underline{Z}_0 = R_0 \end{cases} \quad (8a)$$

- układ równań opisujących obwód z rysunku 4.b)

$$\begin{cases} \underline{U}_1 = \underline{Z}_1 \underline{I}_1 - \underline{Z}_M (\underline{I}_1 - \underline{I}_2) \\ 0 = \underline{Z}_2 \underline{I}_2 + \underline{Z}_0 \underline{I}_2 - \underline{Z}_M (\underline{I}_1 - \underline{I}_2) \\ \underline{Z}_1 = R_1 + j\omega_s L_{r1} - j \frac{1}{\omega_s C_{r1}} \\ \underline{Z}_2 = R_2 + \omega_s L_{r2} + \frac{-j \frac{R_0}{\omega_s C_{r2}}}{R_0 - j \frac{1}{\omega_s C_{r2}}} \\ \underline{Z}_M = j\omega_s L_M \\ \underline{Z}_0 = R_0 \end{cases} \quad (8b)$$

Rysunek 6 przedstawia wzmocnienie układów kompensacyjnych w funkcji zmian częstotliwości oraz zmian rezystancji obciążenia (zmian dobroci obwodu rezonansowego).



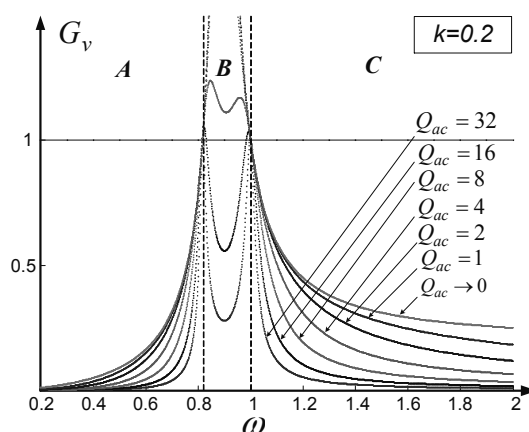
**Rys. 6. Wzmocnienie napięciowe a) kompensacja szeregowo-szeregowa b) kompensacja szeregowo-równoległa**



Na podstawie powyżej przedstawionych z charakterystyk wzmocnienia układu (rys. 6), wynika, że układ kompensacji szeregowo-szeregowy jest mniej wrażliwy na zmiany częstotliwości w porównaniu do kompensacji szeregowo-równoległej, którego charakterystyka jest mocno selektywna. Kompensacja SP wykazuje mniejszą wrażliwość na zmiany rezystancji obciążenia w odniesieniu do kompensacji SS. Kolejne wyniki obliczeń analitycznych (rys.7) transmitancji napięciowej  $G_v$ , dla kompensacji SS, przy zmiennej częstotliwości pracy przekształtnika i dobroci obwodu  $Q_{ac} = \rho / R_e$  przedstawiono na rysunku 7. Obliczenia wykonano dla współczynnika sprzężenia magnetycznego  $k = 0.2$ .

$$\rho = \sqrt{L_r / C_r} \quad (9)$$

$$R_e = \frac{8}{\pi^2} R_o = 0.8106 \cdot R_o \quad (10)$$



Rys. 7. Wzmocnienie napięciowe kompensacja szeregowo-szeregową

Jednostkowe wzmocnienie napięciowe układu występuje dla częstotliwości pracy przekształtnika  $\omega_o$ . Regulację napięcia wyjściowego oraz mocy przesyłanej do obciążenia uzyskać można poprzez pracę układu w jednym z trzech przedstawionych zakresów częstotliwości A, B, C. W zakresie A i C transmitancja napięciowa układu jest funkcją monotoniczną. W zakresie A wzmocnienie napięciowe układu rośnie wraz ze wzrostem częstotliwości. W zakresie C wzmocnienie napięciowe maleje wraz ze wzrostem częstotliwości. Transmitancja napięciowa w zakresie częstotliwości pracy C jest znacznie mniej czuła na zmiany współczynnika sprzężenia magnetycznego  $k$ . Największe wartości wzmocnienia napięciowego osiągnąć można w zakresie B, jednakże transmitancja napięciowa układu  $G_v$  jest tu nieliniowa i wykazuje bardzo dużą czułość na zmiany współczynnika sprzężenia  $k$  oraz obciążenia układu bezprzewodowego przesyłu energii. Zalecanymi przedziałami częstotliwości pracy oraz me-

todami sterowania przekształtnika rezonansowego w bezprzewodowym systemie przesyłu energii są: przedział A – metody integracyjne i przedział C – metoda częstotliwościowa.

## 4. METODY STEROWANIA

---

Komputery przenośne są urządzeniami, które zawierają na swoim pokładzie akumulator umożliwiający pracę bez zasilacza, brak baterii lub jej uszkodzenie powoduje konieczność ciągłej pracy z zasilaczem. Praca komputera z ładowaniem baterii wymaga o 50% większej mocy dostarczanej z zasilacza niż przypadku pracy bez ładowania baterii. Dlatego wyróżniamy dwa typy układów bezstykowego zasilania komputerów przenośnych:

- ładowarka baterii,
- zasilanie notebooka.

Ładowarka akumulatora komputera przenośnego nie wymaga stosowania pętli sprzężenia zwrotnego pomiędzy napięciem odbiornika a układem sterującym. Zasilacze do notebooka ze względu na możliwość pracy bez baterii wymagają układu sprzężenia zwrotnego pomiędzy napięciem odbiornika a układem sterującym, aby stabilizować je na odpowiednim poziomie. Kolejny podział układu bezstykowego zasilania wynika z wielkości szczeliny powietrznej, z jaką pracuje system CET:

- stacje dokujące
- mobilne urządzenia zasilające

Te pierwsze pracują zazwyczaj na odległości kilku do kilkunastu milimetrów natomiast mobilne urządzenia zasilające przesyłają energię na odległości kilkunastu centymetrów, a nawet do kilku metrów (moce na poziomie mW).

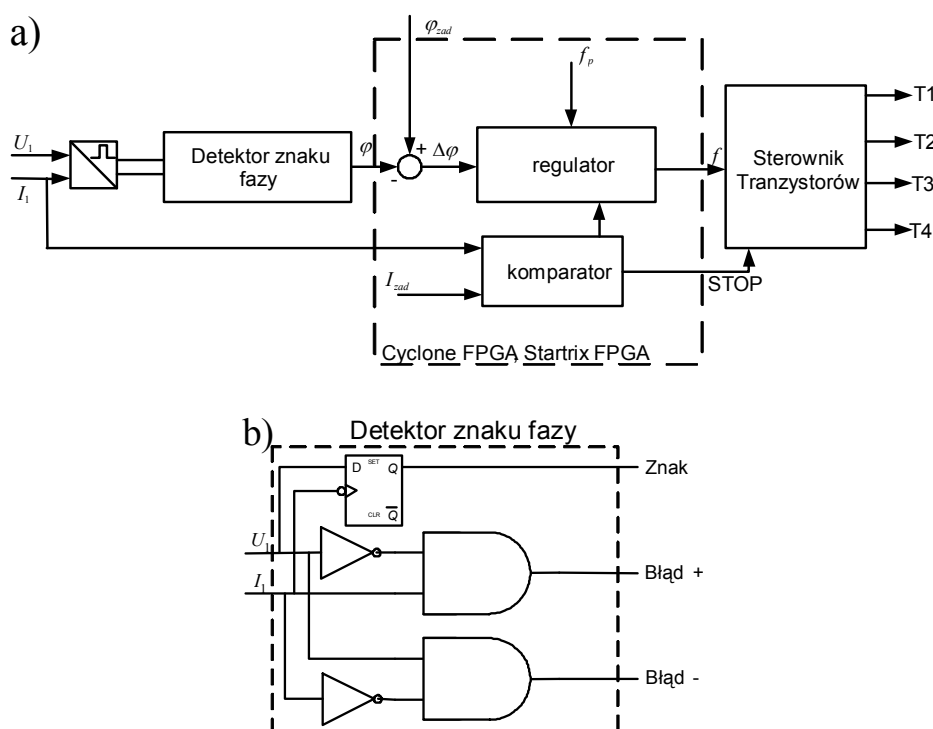
Wyróżnić można dwa podejścia do strategii sterowania falownikiem rezonansowym w systemie bezstykowego zasilania komputerów przenośnych:

- ustawianie na stałe zadanej częstotliwości pracy,
- układy automatycznego dostrajania się do częstotliwości rezonansowej obwodu.

Ustawianie częstotliwości pracy falownika zasilającego na stałe, wykorzystywane jest w przy stacjach dokujących, gdzie współczynnik sprzężenia uzwojeń  $k$  jest stały. Częstotliwość pracy ta dobierana jest zazwyczaj powyżej częstotliwości rezonansowej, tak, aby uzyskać żądaną wartość napięcia odbiornika.

Automatyczne dostrajanie się do częstotliwości rezonansowej wykorzystywane jest w układach mobilnych gdzie współczynnik sprzężenia  $k$  zmienia się i wymagane jest bezobsługowe dostrajanie się układu sterowania do zmieniających się parametrów obwodu.

Jedną z metod stosowanych w takim przypadku jest metoda częstotliwościowa z regulacją przesunięcia fazowego pomiędzy napięciem strony pierwotnej  $u_1$  oraz prądem  $i_1$ . Rysunek 8 przedstawia schemat blokowy częstotliwościowej metody sterownia falownikiem rezonansowym.



**Rys. 8. Schemat blokowy układu sterownia z detekcją fazy** a) schemat blokowy, b) schemat detektora znaku fazy

Napięcie  $u_1$  oraz prąd  $i_1$  przekształcone są przez detektor do sygnałów prostokątnych TTL, gdzie wyznaczany jest znak oraz wartości przesunięcia fazowego błędu fazy. Następnie sygnały te przekazywane są do układ programowalnego FPGA. Regulator ekstremalny zaimplementowany w układzie FPGA decyduje o zwiększeniu lub zmniejszeniu częstotliwości pracy falownika, podążając za zadaną wielkością przesunięcia fazowego napięcia i prądu. Start układu rozpoczyna się od częstotliwości dwa razy większej od częstotliwości rezonansowej, po czym następuje jej zmniejszanie, ma to na celu ograniczenie prądów oraz napięć w obwodzie rezonansowym. Metoda ta umożliwia pracę falownika zasilającego w warunkach przełączania bliskim zera prądu po stronie pierwotnej transformatora ZCS.

## 5. WYBRANE WYNIKI BADAŃ

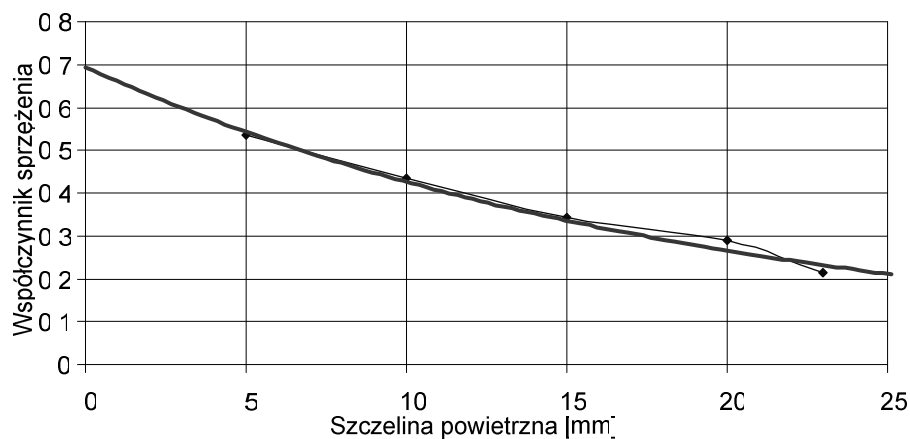
W celu sprawdzenia właściwości systemu bezstykowego przesyłu energii do komputera przenośnego, przeprowadzono badania symulacyjne oraz eksperymentalne wykonanego modelu laboratoryjnego.

**TABELA 2.**

Parametry zasilacza do bezstykowego zasilania notebooka

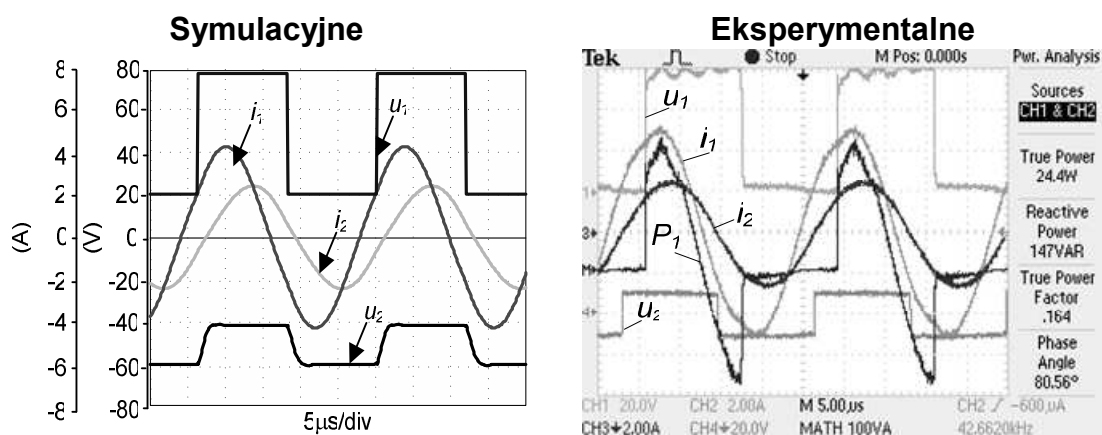
$U_{zas}$	230V 50Hz
$U_{wy}$	20V
$I_{wy}$	5A
P	100W
L	0...20mm

Podstawowe parametry wykonanego zasilacza do bezstykowego zasilania notebooka przedstawiono w tabeli 2. Zmierzony współczynnik sprzężenia uzwojeń przedstawiono na rysunku 9. Charakterystykę sprawności systemu bezstykowego zasilania notebooka przedstawia rysunek 13. Uzyskane przebiegi symulacyjne oraz eksperymentalne (rys. 10 – 12) systemu bezstykowego przesyłu energii z kompensacją szeregową i obciążeniem 20 Vdc są identyczne, co do kształtu. Niewielkie różnice pomiędzy wartościami wynikają z faktu użycia innych modeli tranzystorów mocy w symulacji i eksperymencie.

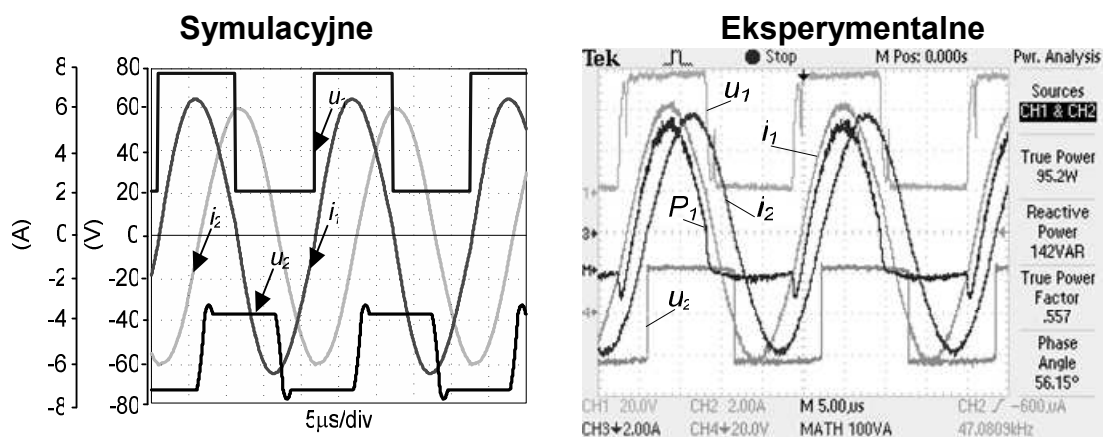


**Rys. 9. Współczynnik sprzężenia uzwojeń w funkcji długości szczeliny powietrznej**

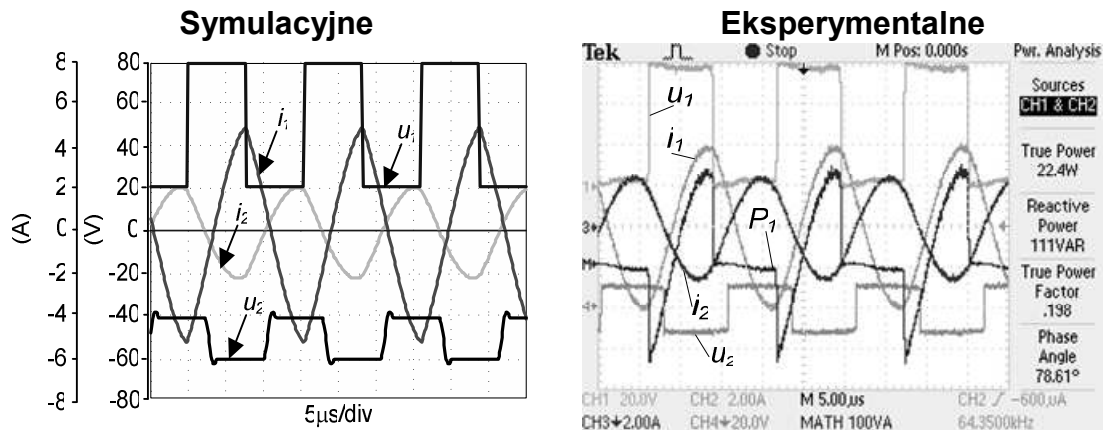
Badania symulacyjne i eksperymentalne przeprowadzono dla współczynnika sprzężenia  $k=0.2$  odpowiadającemu wielkości szczeliny 23 mm i maksymalnemu obciążeniu równemu 100 W. Pojemności kompensujące  $C_r=100$  nF.



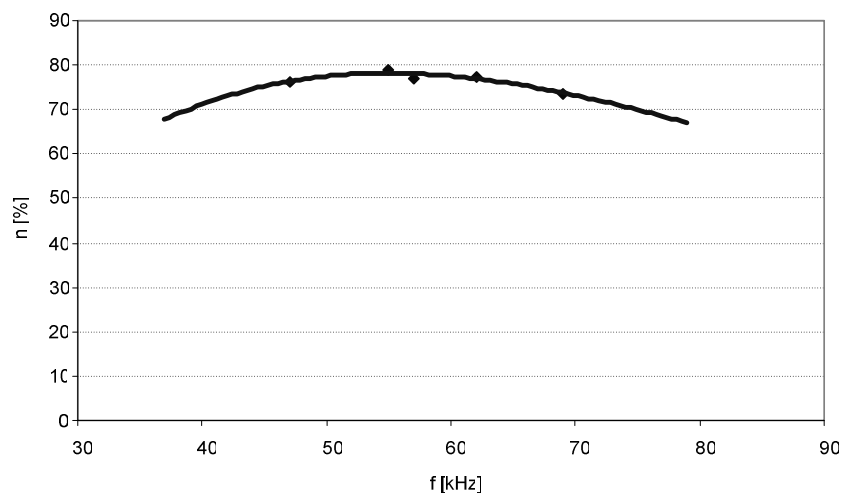
Rys. 10. Wyniki badań symulacyjnych i eksperymentalnych systemu bezstykowego przesyłu energii z kompensacją szeregową i obciążeniem akumulatorowym 20 Vdc. Bateria ładowana prądem 1.5 A. Częstotliwość pracy  $\omega_s < \omega_o$



Rys. 11. Wyniki badań symulacyjnych i eksperymentalnych systemu bezstykowego przesyłu energii z kompensacją szeregową i obciążeniem akumulatorowym 20 Vdc. Bateria ładowana prądem 3.5 A. Częstotliwość pracy  $\omega_s = \omega_o$



Rys. 12. Wyniki badań symulacyjnych i eksperymentalnych systemu bezstykowego przesyłu energii z kompensacją szeregową i obciążeniem akumulatorowym 20 Vdc. Bateria ładowana prądem 1.5 A. Częstotliwość pracy  $\omega_s > \omega_0$



Rys. 13. Wykres sprawności układu dla współczynnika sprzężenia  $k=0.23$ . Rezystancja obciążenia  $R_0 = 9 \Omega$

## 6. PODSUMOWANIE

W artykule przedstawiono zastosowanie układów bezstykowego zasilania urządzeń elektroniki użytkowej na przykładzie komputera przenośnego. Przedstawione badania symulacyjne i eksperymentalne układu zostały przeprowadzone dla falownika rezonansowego w wersji półmostkowej. Na podstawie przedstawionych wyników można zauważyć, jak duża jest wrażliwość systemu CET przy pracy z częstotliwością inną niż założona częstotliwość rezonansowa. Związane jest to ze znacznym wzrostem impedancji systemu i obniżeniem wartości przesyłanej mocy. Zmniejszenie wartości impedancji falowej układu w stosunku do rezystancji obciążenia ma niekorzystny wpływ na przesył

energii w systemie, powodując zwiększenie przesunięcia fazowego napięcia i prądu strony wtórnej względem przebiegów po stronie pierwotnej transformatora. Powoduje to wzrost prądu magnesującego tym samym zwiększenie strat przewodzenia oraz generowanie zakłóceń elektromagnetycznych.

Kompensacje indukcyjności rozproszenia uzwojeń transformatora powietrznego w przedstawionym modelu, zrealizowano poprzez szeregowe dołączenie kondensatorów do uzwojeń po stronie pierwotnej i wtórnej. Energia przesyłana ze źródła zasilania do obwodu obciążenia w przedstawionym układzie ma wartość maksymalna, gdy przekształtnik pracuje z częstotliwości rezonansową, a komutacja łączników zachodzi w warunkach ZCS.

Zalety zastosowanej metody kompensacji są następujące:

- mała wrażliwość układu na zmiany częstotliwości pracy,
- jednorazowy dobór pojemności kompensującej dla całego zakresu współczynników sprzężenia,
- mniejsze amplitudy napięć występujących na kondensatorze kompensującym w porównaniu z kompensacją szeregowo-równoległą, co zmniejsza znacząco jego gabaryty.

W systemie bezstykowego przesyłu energii zastosowanie metody sterowania zapewniającej pracę układu w warunkach rezonansu ma szczególne znaczenie. Uzyskuje się wówczas ograniczenie strat energii, które i tak występują w związku z obecnością szczeliny powietrznej pomiędzy rdzeniami transformatora. Zmniejszenie impedancji wypadkowej obwodu poprzez doprowadzenie układu do rezonansu umożliwia przesył znacznie większych mocy w przypadku systemu ze słabym sprzężeniem magnetycznym. Zastosowano częstotliwościową metodę sterowania regulacji przesunięcia fazowego pomiędzy prądem i napięciem strony pierwotnej transformatora. Właściwości tej metody są następujące:

- prosta struktura, sygnał prądu i napięcia potrzebne do przeprowadzenia procesu regulacji,
- duża szybkość działania na zmiany rezystancji obciążenia.
- błąd regulacji zależnym od częstotliwości zegara układu sterującego

## LITERATURA

1. A. Moradewicz: Study of Wireless Energy Transmission Systems Using Inductive Coupling. In Proc. of International Conf. PELINCEC, 2005, Warsaw, Poland (CD).
2. A. Moradewicz: Wireless Energy Transmission System with Rotating Transformer – Simulation study. VII International Workshop for Candidates for a Doctor's Degree OWD'2005 – 22-25 October 2005 Wisla, Poland, pp 191-196 (In Polish).
3. M. P. Kazmierkowski, J. T. Matysik: Introduction into Signal and Power Electronics. Oficyna Wydawnicza, Warsaw University of Technology, 2005 (In Polish).

4. A. Moradewicz: Series Resonant Converter in Wireless Energy Transmission System – Simulation Study. In Proc. of Conf. MiS-4, Kościelisko, Poland, 19-23 czerwca 2006, Vol. I, pp. 145-152 (In Polish).
5. A. Moradewicz: Wireless Energy Transmission system With Series Resonant Converter. In Proc. of Conf. Elektrotechnika 2006, 12-13 December, Warsaw, Poland (In Polish).
6. A. Moradewicz, M. P. Kazmierkowski: Novel FPGA Based Control of Series Resonant Converter for Contactless Power Supply. In Proc. IEEE EUROCON'07, Warsaw, 2007, (CD).
7. A. Kurs et. Al.: Wireless Power Transfer via Strongly Couplet Magnetic Resonance. Scienceexpress, [www.scienceexpress.org](http://www.scienceexpress.org), Published online 7 June 2007; 10.1126/science.114354.
8. A. Moradewicz: Contactless Energy Transmission System. Nowa Elektrotechnika, Vol. 38, No. 10, pp.8-11, 2007, (In Polish).
9. A. Moradewicz, M. P. Kazmierkowski: Resonant Converter Based Contactless Power Supply for Robots and Manipulators. Journal of Automation, Mobile Robotics & Intelligent Systems, Vol. 2, No. 3, 2008.
10. A. G. Pedder, A. D. Brown, J. A. Skinner: A Contactless Electrical Energy Transmission System. IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 46, no. 1, 1999, pp. 23-30.
11. Ch-S. Wang, O. H. Stielau, and G. A. Covic: Design considerations for contactless electric vehicle battery charger. IEEE Trans. on Industrial Electronics, vol. 52, No 5, 2005, pp. 1308-1313.

Rękopis dostarczono dnia 3.10.2008 r.

Opiniował: prof. dr hab. inż. Antoni CIEŚLA

## CONTACTLESS POWER SUPPLY SYSTEMS FOR NOTEBOOKS

Artur MORADEWICZ  
Rafał MIŚKIEWICZ

**ABSTRACT** *This paper describes the theoretical and experimental analysis of contactless power supply for notebook. Compensation the leakage inductances is realized through adding the resonant capacitance to the primary and secondary windings of the air gap transformer. The basic compensations topologies SS series-series and SP series-parallel are presented and compared. To consider the problem of selections resonant circuit and its parameters and achieve the maximum power delivered to the load with minimum VA rating of the power supply, the mathematical model combined the primary and secondary side is developed and the total impedance seen by the power supply converter is described. For experimental validation a laboratory set-up based on 100 W half-bridge converter with air gap coupling transformer and FPGA phase shift extreme regulator has been constructed.*