

WYKORZYSTANIE ZJAWISKA INDUKCJI ELEKTROMAGNETYCZNEJ DO ZASILANIA SAMOCHODU OSOBOWEGO Z NAPĘDEM ELEKTRYCZNYM

Zjawisko indukcji elektromagnetycznej jest obecnie wykorzystywane w wielu gałęziach przemysłu. Najpowszechniej stosowane jest do uzupełniania energii w telefonach komórkowych, jak również w szczoteczkach do zębów a nawet pojazdach. W artykule omówiony został aspekt teoretyczny zjawiska indukcji oraz projekt realizowany na Politechnice Łódzkiej mający na celu wykorzystanie tego zjawiska przy konstrukcji napędu elektrycznego samochodu osobowego wyposażonego fabrycznie w napęd spalinowy. Zjawisko indukcji elektromagnetycznej opisane jest prawem Faradaya, które stwierdza, że zmienny w czasie strumień indukcji pola magnetycznego jest w stanie wytworzyć siłę elektromotoryczną w obwodzie elektrycznym. To samo prawo stosuje się również w przypadku indukcji wzajemnej, gdzie jedna cewka z zewnętrznym źródłem prądu przemienego powoduje poprzez zmienne pole magnetyczne powstanie prądu w drugim obwodzie znajdującym się blisko pierwszego.

Zaimplementowanie zjawiska w pojeździe elektrycznym polega na skonstruowaniu elementów tworzących cewkę nadawczą, podłączoną do sieci elektrycznej oraz cewkę odbiorczą zainstalowaną w samochodzie i zasilającą silnik. Praktycznym rozwiązaniem tego zadania może być system MOVITRANS® opracowany przez firmę SEW Eurodrive. Posiada on gotowe koncepcje urządzeń nadawczych i odbiorczych oraz elementów pośrednich przesyłu energii. Współpraca Politechniki Łódzkiej z SEW Eurodrive w tej kwestii została już nawiązana i pierwszych wyników można spodziewać się wkrótce.

WSTĘP

Obecnie coraz większe oczekiwania stawiane są przed przemysłem motoryzacyjnym w kwestii zmniejszenia zużycia konwencjonalnych paliw. Decydują o tym różne aspekty m. in. ekologia, kwestie finansowe bądź ograniczone zasoby ropy naftowej. Stąd też coraz większa liczba producentów z branży motoryzacyjnej wprowadza wśród swoich marek modele hybrydowe z wykorzystaniem energii elektrycznej bądź modele w pełni elektryczne. Jednakże, pomimo wielu zalet takich systemów pojawia się też jeden główny problem jakim jest uzupełnianie energii w pojazdach po jej wyczerpaniu. Zważywszy na niewielki zasięg samochodów elektrycznych w porównaniu z pojazdami wyposażonymi w silnik spalinowy konieczne jest ich częste ładowanie, które ciągle jest procesem długotrwałym. Jednym ze sposobów pozbycia się niektórych wad pojazdów z napędem elektrycznym może okazać się system zasilania indukcyjnego.

Taki system znany i stosowany jest już od kilkunastu lat, a jednymi z pierwszych urządzeń wyposażonych w możliwość indukcyjnego ładowania już w latach 90tych XX wieku były szczoteczki do zębów firmy Oral-B. Jednakże w obecnych czasach ładowarki indukcyjne są o wiele częściej kojarzone z udogodnieniem wprowadzonym przez niektórych producentów nowoczesnych telefonów komórkowych. Pierwszy model wyposażony w możliwość ładowania indukcyjnego pojawił się już w roku 2009 za sprawą firmy Palm i modelu smartphone'a o nazwie Pre [12]. Jednakże firmą uznawaną za lidera w forsowaniu rozwiązań bezprzewodowego ładowania telefonów była Nokia. Firma ta w swojej historii nie tylko wprowadziła dwa modele (Lumia 820 i Lumia 920) wyposażone w ten standard, ale również udostępniła możliwość korzystania z alternatywnych obudów ze zwojami do ładowania indukcyjnego oraz mocno promowała to rozwiązanie, dzięki czemu np. w jednej z sieci kawiarni pojawiły się stoliki z płytami do ładowania indukcyjnego [4].

Przemysł motoryzacyjny również nie pozostał obojętny wobec możliwości uzupełnienia energii w pojazdach elektrycznych w sposób bezprzewodowy. Swoje rozwiązania w tej kwestii prezentowali producenci czołowych marek samochodów m.in. BMW w pełni elektrycznym modelu i3, Audi w modelu Q7 E-Tron lub Infiniti w modelu LE [11, 1, 5]. We wszystkich tych przypadkach uzupełnianie energii opiera się na tym samym mechanizmie, który pozwala bez konieczności podłączania przewodów naładować akumulatory. Różnicę stanowi osiągnięta wydajność systemu oraz czujniki wykrywania pętli indukcyjnych będących źródłem energii. Jednakże główna idea polega na ładowaniu akumulatorów tylko w wybranych punktach, w których zasięgu pojazd musi znajdować się przez dłuższy czas.

Pomysłem, który ma ulepszyć istniejące rozwiązania w kwestii indukcyjnego zasilania ma być wyposażenie infrastruktury w kable elektryczne. Takie koncepcje testowane są już m. in. przez Koreański Instytut Zaawansowanej Nauki i Technologii z myślą o transporcie miejskim. Autobus byłby na bieżąco ładowany energią elektryczną poprzez indukcję w momencie kiedy specjalny czujnik wychwyciłby takie zapotrzebowanie i uruchomiłby linię elektryczną znajdującą się w jezdni. Pozwoliłoby to zdaniem naukowców na zmniejszenie rozmiarów akumulatorów oraz znaczne wydłużenie zasięgu pojazdu [3].

Nad rozwiązaniem zasilania indukcyjnego dedykowanym dla samochodu marki Smart pracują naukowcy Katedry Pojazdów i Podstaw Budowy Maszyn Politechniki Łódzkiej. W niniejszym artykule został opisany plan wdrożenia rozwiązania oraz mechanizm działania układu.

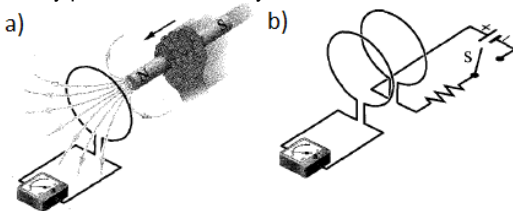
1. ZJAWISKO INDUKCJI ELEKTROMAGNETYCZNEJ

Opisane we wstępie rozwiązanie zasilania indukcyjnego zastosowane w dziedzinie elektroniki i motoryzacji ukazują jak wielkim udogodnieniem jest właśnie ten sposób zaopatrywania urządzeń w energię elektryczną. Choć sam system jest stosunkowo nowy to

zjawisko indukcji elektromagnetycznej będące podstawą jego funkcjonowania znane jest już od prawie dwustu lat. W tym rozdziale zostanie ono omówione w sposób szczegółowy jak również zostanie przedstawione jego praktyczne wykorzystanie w pojazdach z systemem indukcyjnego uzupełniania energii elektrycznej.

1.1. Prawo indukcji Faradaya [2]

Na początku XIX wieku angielski uczyony Michael Faraday stwierdził, że zmienne pole magnetyczne jest w stanie wytworzyć siłę elektromotoryczną, a tym samym powodować przepływ prądu elektrycznego. Swoje odkrycie poparł doświadczeniami, z których dwa zostały przedstawione na rysunku 1.



Rys. 1. Doświadczenia Faradaya wykazujące istnienie zjawiska indukcji elektromagnetycznej [2]

Na rysunku 1a pętla zrobiona z przewodzącego materiału podłączona jest do czułego miernika prądu. Do pętli nie jest przykładane żadne napięcie stąd też początkowe wskazania miernika wynoszą zero. W pewnym momencie do pętli zostaje przybliżony magnes. W miarę przybliżania magnesu miernik zacznie wskazywać pojawienie się prądu w obwodzie, natomiast gdy magnes zostanie zatrzymany miernik wskaże brak prądu. Podobnie będzie przy odsuwaniu sztabki magnesu jednak wtedy prąd popłynie w kierunku przeciwnym niż poprzednio.

Na rysunku 1b została przedstawiona taka sama pętla z miernikiem prądu jak na rysunku 1a. Jednakże w tym przypadku do pętli nie jest zbliżany magnes tylko blisko niej znajduje się druga pętla przewodząca podłączona do źródła prądu. Pętla po prawej stronie jest wstępnie otwarta, tak więc nie płynie przez nią prąd. Kiedy natomiast obieg zostaje zamknięty widać natychmiastowy krótkotrwały skok wskazówki miernika podłączonego do pętli po lewej stronie. Jeśli obieg zostanie powtórnie przerwany to w pętli po lewej stronie również pojawi się nagle i krótkotrwałe wskazanie prądu tym razem płynącego w przeciwnym kierunku.

W obu doświadczeniach mamy do czynienia z tzw. prądem indukowanym, natomiast pracę wykonaną w celu wytworzenia tego prądu nazywa się indukowaną siłą elektromotoryczną (SEM). Zjawiskiem indukcji elektromagnetycznej nazywa się zjawisko powstania prądu indukcyjnego oraz SEM. Doświadczenia przedstawione na rysunku 1 prowadzą do ciekawych obserwacji. Po pierwsze, prąd indukowany pojawia się tylko wtedy gdy obserwowana jest pewna zmiana w postaci względnego przybliżenia/oddalenia pętli i magnesu bądź włączenia/wyłączenia prądu w sąsiednim obwodzie. Widać stąd, że nawet bardzo niewielka (lecz stała) odległość pomiędzy źródłem pola magnetycznego i pętli jak również bardzo duża (lecz stała) wartość natężenia prądu w drugiej pętli nie są w stanie wytworzyć prądu indukowanego. Po drugie, możliwe jest do zaobserwowania, że szybszy ruch magnesu w przykładzie przedstawionym na rysunku 1a powoduje otrzymanie większego natężenia prądu indukowanego. Po trzecie, nie tylko zmienne pole magnetyczne indukuje zmienny prąd elektryczny, ale również zmiana natężenia prądu w czasie powoduje powstanie zmiennego pola magnetycznego (doświadczenie z rysunku 1b).

Jak wynika z przeprowadzonych doświadczeń za wartość indukowanej siły elektromotorycznej odpowiada szybkość zmiany pola magnetycznego. Może to zostać zobrazowane za pomocą linii

pola magnetycznego znajdujących się w obrębie pętli przewodzącej. Faraday zauważył, że sama liczba linii pola magnetycznego przechodzących przez pętlę podłączoną do miernika nie ma wpływu na indukowaną SEM. Znaczenie ma zmiana liczby tych linii w czasie. Zatem prawo indukcji Faradaya można zapisać następująco

$$\varepsilon = - \frac{d\Phi_B}{dt} \quad (1)$$

gdzie:

ε - indukowana siła elektromotoryczna

Φ_B - strumień indukcji pola magnetycznego wyrażony wzorem

$$\Phi_B = \int \vec{B} \circ d\vec{S} \quad (2)$$

gdzie:

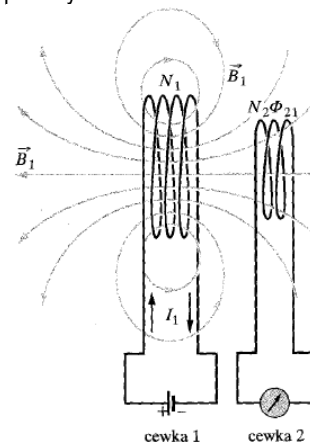
\vec{B} - indukcja pola magnetycznego,

\vec{S} - wektor prostopadły do powierzchni S przez którą przechodzi pole.

Zgodnie z regułą Lentza indukowana siła elektromotoryczna przeciwdziała zmianie strumienia pola magnetycznego, stąd znak „-” we wzorze (1). Dla cewki o N zwojach całkowita SEM będzie sumą sił elektromotorycznych wytworzonych w każdym zwoju.

1.2. Indukcja wzajemna [2]

Zjawisko indukcji wzajemnej można zobrazować za pomocą przykładu podobnego do układu przedstawionego na rysunku 1b, z tą różnicą, że teraz zostaną przedstawione dwie cewki zawierające N_1 i N_2 zwojów, patrz rysunek 2.



Rys. 2. Doświadczenie obrazujące zjawisko indukcji wzajemnej [2]

Jak widać na przedstawionym przykładzie stały prąd o natężeniu I_1 , dostarczany z zewnętrznego źródła płynąc przez cewkę 1 wytwarza strumień magnetyczny Φ_{21} , który przenika przez cewkę 2 znajdującą się blisko cewki 1. Za sprzężenie pomiędzy cewką 1 a cewką 2 poprzez strumień Φ_{21} (strumień wytworzony przez prąd płynący w cewce 1 ale przechodzący przez cewkę 2) odpowiada indukcyjność wzajemna oznaczona symbolem M_{21} , wyrażana w henrach (H) i opisywana równaniem

$$M_{21} = \frac{N_2 \Phi_{21}}{I_1} [H] \quad (3)$$

Wymnażając obie strony równania 3 przez I_1 oraz zakładając, że w obwodzie pojawi się zmienny w czasie prąd, który jak wiadomo

z poprzedniego rozdziału spowoduje powstanie zmiennego strumienia pola magnetycznego, otrzymamy równanie

$$M_{21} \frac{dI_1}{dt} = N_2 \frac{d\Phi_{21}}{dt} \quad (4)$$

Korzystając ze znajomości prawa Faradaya oraz reguły Lenza równanie 4 można zapisać w postaci

$$\varepsilon_2 = -M_{21} \frac{dI_1}{dt} \quad (5)$$

gdzie:

ε_2 - SEM w cewce 2 indukowana w wyniku zmiany natężenia prądu I_1 w cewce 1.

Ponadto, gdyby zostało przeprowadzone odwrotne doświadczenie do przedstawionego na rysunku 2 tzn. zmienny prąd przepływałby przez cewkę 2 to rozumując w ten sam sposób jak poprzednio, w cewce 1 wytworzyłaby się SEM ε_1 . Indukcyjność wzajemna zostałaby w tym wypadku oznaczona symbolem M_{12} . Przyjmując, że prawdziwa jest zależność $M_{12}=M_{21}=M$, otrzymujemy

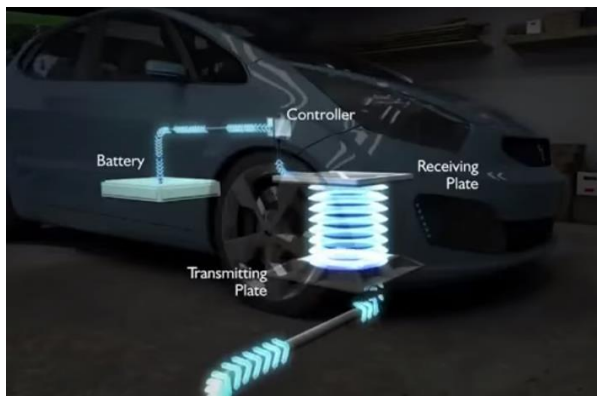
$$\varepsilon_1 = -M \frac{dI_2}{dt} \quad (6)$$

$$\varepsilon_2 = -M \frac{dI_1}{dt} \quad (7)$$

Jak widać z równań 6 i 7 indukcja w rzeczywistości jest wzajemna.

1.3. Wykorzystanie zjawiska indukcji elektromagnetycznej w pojeździe elektrycznym

We wstępie wymieniono wiele przykładów praktycznego zastosowania zjawiska indukcji elektromagnetycznej. Ze względu na charakter artykułu w tym rozdziale zostaną szerzej omówione przykłady związane z motoryzacją. Spośród istniejących koncepcji większość opiera się na tych samych rozwiązaniach, co wynika z faktu, że indukcja elektromagnetyczna jest zjawiskiem o niskim stopniu skomplikowania. Podstawowymi elementami układu indukcyjnego ładowania są zawsze cewka nadawcza, cewka odbiorcza, urządzenie kontrolujące przesyłanie energii oraz bateria, do której podłączony jest silnik, co zostało zaprezentowane na rysunku 3.



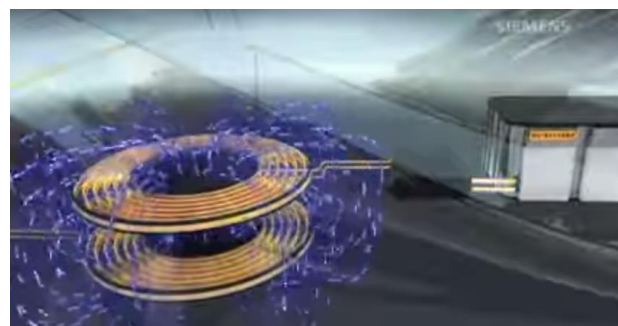
Rys. 3. Podstawowe elementy układu bezprzewodowego ładowania indukcyjnego w samochodzie [6]

Warunkiem koniecznym efektywnego działania układu jest znalezienie się cewki odbiorczej zamontowanej w samochodzie w jednej osi z cewką nadawczą, podłączoną do sieci elektrycznej. W tym celu kierowca powinien być informowany o położeniu cewek względem siebie, co zostało w przykładowy sposób pokazane na rysunku 4.



Rys. 4. Przykładowy system informujący o położeniu dwóch cewek względem siebie [10]

Kiedy cewki znajdują się w jednej osi dochodzi do sytuacji przedstawionej w poprzednim podrozdziale i następuje zjawisko indukcji wzajemnej. Zmienny prąd dostarczany do pierwszej cewki (nadawczej) powoduje powstanie zmiennego strumienia pola magnetycznego (rysunek 5), co w efekcie skutkuje pojawieniem się prądu w cewce 2. Następnie prąd ten jest przesyłany do baterii, która zasila silnik pojazdu.



Rys. 5. Powstawanie zjawiska indukcji wzajemnej w systemie bezprzewodowego uzupełniania energii [10]

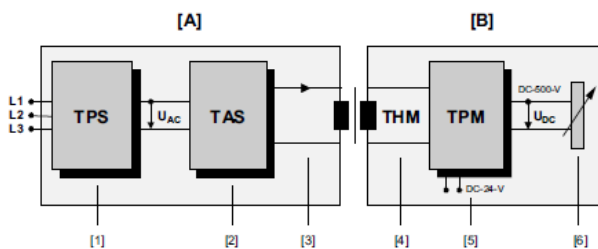
2. PRACE PROWADZONE NA POLITECHNICE ŁÓDZKIEJ

Obecnie na Politechnice Łódzkiej prowadzone są prace mające na celu przebudowę samochodu marki Smart z napędu spalinowego na elektryczny. Projekt ten został podzielony na dwa etapy. Pierwszy z nich obejmuje wymianę wszystkich elementów koniecz-

nych dla napędu spalinowego na części niezbędne z punktu widzenia napędu elektrycznego. W tym etapie między innymi silnik benzynowy został zastąpiony silnikiem elektrycznym o mocy 4 kW, został zamontowany falownik oraz usztywniono zawieszenie pojazdu. Ta część projektu wraz ze wskazaniem wszystkich zmian została bardziej szczegółowo opisana w oddzielnym artykule.

Drugi etap natomiast obejmuje zrealizowanie koncepcji dostarczenia energii elektrycznej do silnika z wykorzystaniem zjawiska indukcji. Jest on wstępnie podzielony na dwie części. Najpierw wdrożony zostanie sam system indukcyjnego przekazywania energii z sieci elektrycznej do pojazdu. W tej fazie pomija się wykorzystanie akumulatorów, jako elementu łączącego źródło prądu indukcyjnego z falownikiem, który steruje silnikiem. Falownik jest bezpośrednio zasilany prądem z pętli indukcyjnej. Kiedy ta faza zakończy się powodzeniem rozpocznie się drugi etap obejmujący dodanie akumulatorów do całego systemu zasilania. W tym rozdziale zostanie jednak opisana koncepcja z pominięciem użycia akumulatorów.

Jednym z rozwiązań kwestii zaopatrywania silnika pojazdu w energię z wykorzystaniem zjawiska indukcji może być zastosowanie elementów opracowanych przez firmę SEW Eurodrive tworzących system MOVITRANS®. Jest to system dedykowany głównie dla przenośników na liniach montażowych, ale może być również wykorzystany do innych celów np. tworzenia stacji ładowania baterii lub przy konstrukcji wind. System składa się z dwóch części: stacjonarnej i mobilnej, natomiast sprzężenie pomiędzy nimi jest realizowane poprzez szczelinę powietrzną na zasadzie indukcji. Jego głównymi zaletami są niski stopień zużycia, brak konieczności konserwacji, brak wrażliwości na zabrudzenia oraz szybkie przesyłanie energii. Schemat budowy systemu został przedstawiony na rysunku 6. [7]



Rys. 6. Schemat budowy systemu MOVITRANS® [7]

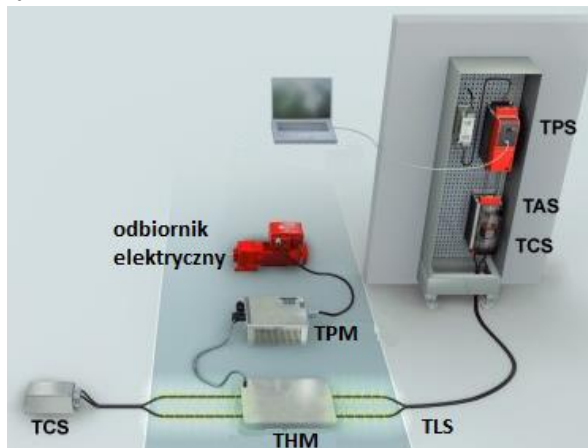
W skład elementów systemu przedstawionego na rysunku 6 (zgodnie z numeracją pokazaną na rysunku) wchodzi:

- część stacjonarna (A)
 - przetwornica TPS (1)
 - służy do przetwarzania pochodzącego z sieci zmiennego napięcia o niskiej częstotliwości (50/60 Hz) w napięcie przemiennie o stałej częstotliwości 25 kHz; urządzenie dostępne jest w dwóch wielkościach: **2** o mocy wyjściowej 4 kW i **4** o mocy wyjściowej 16 kW, przetwornica może być podłączona do sieci o napięciu od 380 V do 500 V ± 10%, zapewnia napięcie wyjściowe 400 V; [7]
 - moduł TAS (2)
 - odbiera napięcie pochodzące z przetwornicy TPS i wytwarza sinusoidalnie zmienny prąd, urządzenie dostępne jest w dwóch wielkościach: **2** o mocy wyjściowej 4 kW i **4** o mocy wyjściowej 16 kW, moduły zarówno jednej jak i drugiej wielkości mogą wytworzyć prąd wyjściowy zmienny $I_{AC}=60$ A lub $I_{AC}=85$ A; [7]
 - elementy montażowe (3), w skład których wchodzi [9]
 - przewody TLS
 - w skład tej grupy elementów wchodzi zarówno przewód doprowadzający, który łączy moduł TAS z

odcinkiem przesyłu energii, jak również przewody sterownicze o różnych przekrojach (8 mm², 16 mm², 25 mm² lub 41 mm²), odpowiadające za przesył energii drogą indukcji;

- skrzynki kompensacyjne TCS
 - stosowane są do kompensacji indukcyjności przewodów sterowniczych, zawierają kondensatory o pojemnościach 2 μF, 4 μF, 8 μF, 16 μF lub 32 μF;
- rozdzielacz przyłączeniowy TVS
 - służy do podłączania przewodu doprowadzającego z jednej strony do modułu TAS, a z drugiej do odcinka przesyłu energii oraz do podłączania przewodów sterujących do odcinka przesyłu energii;
- materiał instalacyjny TIS
 - stosowany jest do mocowania przewodów sterowniczych TLS;
- część mobilna (B)
 - głowica odbiorcza THM (4)
 - odpowiada za bezstykowy odbiór energii z odcinka zawierającego przewody sterownicze i przekazanie energii do przetwornicy TPM, występuje w dwóch typach: głowica U-kształtna i głowica płaska, znamionowa moc wyjściowa zależy od wartości prądu płynącego przez przewody TLS, dla prądu $I_{AC}=60$ A mocy wyjściowa głowicy THM wynosi 950 W (głowica płaska) lub 800 W (głowica U-kształtna), dla $I_{AC}=85$ A wynosi 1500 W (tylko głowica płaska), maksymalne wyjściowe napięcie zmienne wynosi 550 V; [7]
 - przetwornica ruchoma TPM (5)
 - przekształca energię otrzymaną z głowicy THM i przekazuje ją do odbiornika elektrycznego, wyjściowa moc znamionowa zależy od typu i liczby głowic THM np. dla 4 głowic U-kształtnych wynosi maksymalnie 3,6 kW, a dla 2 głowic płaskich 3 kW, stałe napięcie wyjściowe wynosi 500 V; [7]
 - ruchomy odbiornik prądu (6).

Przykładowy układ wymienionych w tym rozdziale elementów z użyciem płaskiej głowicy odbiorczej THM został przedstawiony na rysunku 7.



Rys. 7. Układ zbudowany przy wykorzystaniu elementów systemu MOVITRANS® [8]

Praktyczne zastosowanie systemu MOVITRANS® w celu dostarczenia energii elektrycznej do silnika pojazdu będzie polegało na zamontowaniu głowicy odbiorczej THM w podwoziu samochodu, która poprzez przetwornicę TPM znajdującą się w kabinie pojazdu zasili jednostkę napędową. Początkowo samochód będzie poruszał się wzdłuż odcinka przesyłu energii wyznaczonego przez płytki instalacyjne TIS zawierające przewody sterujące TLS. Kiedy ten etap projektu zakończy się powodzeniem zostanie zapoczątkowana

druga faza obejmująca zastosowanie akumulatorów, które będą ładowane drogą indukcji. Ich użycie pozwoli na częściowe uniezależnienie toru jazdy samochodu od odcinka przesyłu energii, który będzie trzeba przejechać tylko wówczas, gdy akumulatory zaczną się wyczerpywać.

PODSUMOWANIE

Projekt realizowany na Politechnice Łódzkiej w Katedrze Pojazdów i Podstaw Budowy Maszyn to wieloetapowe złożone przedsięwzięcie doprowadzające do zastąpienia seryjnie montowanego w pojeździe napędu spalinowego napędem elektryczny. Ponadto, planowane jest w nim wykorzystanie zjawiska indukcji jako sposobu zasilania silnika, a w późniejszym czasie ładowania akumulatorów. Projektowany system ma tym samym przewagę nad konwencjonalnymi systemami napędu elektrycznego, gdyż jest bardziej przyjazny w użytkowaniu. Kierowca nie musi pamiętać o podłączaniu zewnętrznego zasilania do samochodu, system jest prosty w użyciu, a samo zjawisko następuje samoczynnie po znalezieniu się płyty odbiorczej w pobliżu źródła energii.

Już na obecnym etapie projektu napęd elektryczny z powodzeniem zastąpił napęd spalinowy. Pojazd porusza się tak jak przed wymianą jednak musi być na stałe podłączony przewodem do sieci elektrycznej. W tym momencie, prowadzone są rozmowy z przedstawicielami firmy SEW Eurodrive w celu nabycia systemu do indukcyjnego przesyłania energii, który następnie zostanie zamontowany w samochodzie. Wtedy kabel sieciowy stanowiący obecny układ zasilania silnika stanie się niepotrzebny i kolejny etap projektu zakończy się powodzeniem.

BIBLIOGRAFIA

1. Elszkowski Ł. *Audi Q7 E-Tron z ładowaniem indukcyjnym*. [Online] 10 Kwiecień 2015. [Zacytowano: 04 Czerwiec 2015.] <http://motofilm.pl/2015/04/audi-q7-e-tron-z-ladowaniem-indukcyjnym/>.
2. Halliday D., Resnick R. i Walker J. *Podstawy Fizyki 3*. [red.] Łukaszewski M. i Mikołajek-Zielińska B. [tłum.] Ajduk Z. i Jaworski M. Warszawa : Wydawnictwo Naukowe PWN, 2006.
3. kopalniawiedzy.pl. *Indukcyjne ładowanie autobusu*. [Online] [Zacytowano: 04 Czerwiec 2015.] <http://hoga.pl/motoryzacja/Indukcyjne-ladowanie-autobusu/>.
4. Kralka J. *Bezprzewodowe ładowanie*. [Online] 15 Styczeń 2013. [Zacytowano: 04 Czerwiec 2015.] http://www.benchmark.pl/testy_i_recenzje/bezprzewodowe-ladowanie.html.
5. Motoryzacja INTERIA.PL. *Nowe infiniti LE. Z bezprzewodowym ładowaniem*. [Online] 06 Kwiecień 2012. [Zacytowano: 04 Czerwiec 2015.] <http://motoryzacja.interia.pl/samochody-nowe/prototypy/news-nowe-infiniti-le-z-bezprzewodowym-ladowaniem,nld,1391162>.
6. Oak Ridge National Laboratory. *Wireless Power Transfer*. [Online] 22 Lipiec 2013. [Zacytowano: 04 Czerwiec 2015.] <https://www.youtube.com/watch?v=Gw6XtzEOlyI>.
7. SEW Eurodrive. *Contactless Energy Transfer MOVITRANS® System Description*. [Online] 2011. [Zacytowano: 04 Czerwiec 2015.] <http://download.sew-eurodrive.com/download/pdf/17079217.pdf>.
8. SEW Eurodrive. *MOVITRANS®*. [Online] 2015. [Zacytowano: 04 Czerwiec 2015.] <http://www.sew-eurodrive.pl/produkt/movitrans.htm>.
9. SEW Eurodrive. *Stacjonarne Zasilanie MOVITRANS® Materiały instalacyjne TCS, TVS, TLS, TIS Instrukcja obsługi*. [Online] 2011. [Zacytowano: 04 Czerwiec 2015.] <http://download.sew-eurodrive.com/download/pdf/17074541.pdf>.
10. Siemens. *Inductive Charging*. [Online] 19 Kwiecień 2011. [Zacytowano: 04 Czerwiec 2015.] <https://www.youtube.com/watch?v=dr1mBPySz7U>.
11. Szulc E. *SENSACYJNE BMW I3 JUŻ W POLSCE*. [Online] 11 Grudzień 2013. [Zacytowano: 04 Czerwiec 2015.] <http://life.forbes.pl/sensacyjne-bmw-i3-juz-w-polsce-ceny-i-parametry,artykuly,166488,1,1.html>.
12. Żołyński M. *Mam nadzieję, że ładowanie bezprzewodowe będzie przyszłością*. [Online] [Zacytowano: 04 Czerwiec 2015.] <http://komorkomania.pl/3549,mam-nadzieje-ze-ladowanie-bezprzewodowe-bedzie-przyszloscia-wideo>.

Application of the electromagnetic induction phenomenon for powering the motor car with an electrical propulsion system

Nowadays, the electromagnetic induction phenomenon is used in numerous branches of industry. The most commonly it is applied to charging mobile phones as well as electrical toothbrushes and even cars. The project which is carried out at The Lodz University of Technology is aimed at using the phenomenon for construction of the electrical propulsion for the Smart car initially produces with the internal combustion engine. The electromagnetic induction phenomenon is described by the Faraday's Law. It says that a varying magnetic flux is able to create an electromotive force in the electric circuit. The same law is applied in case of the mutual induction phenomenon where one coil connected to an external source of alternating current, by means of the varying magnetic flux, is able to generate current in another coil located near the first one.

Practical application of the phenomenon in the car consists in constructing elements making the transmitting coil connected to the power grid and the receiving coil installed in the car. An useful solution of this task can be the MOVITRANS® system designed by the SEW Eurodrive Company. The system consists of ready-to-use concepts of receiving and transmitting devices as well as all necessary connecting components to make the energy transmission possible. Cooperation of The Lodz University of Technology with the SEW Eurodrive Company has been already established and first findings can be expected in the nearest future.

Autorzy:

dr inż. **Robert Pietruszewski** – Politechnika Łódzka, Wydział Mechaniczny, Katedra Pojazdów i Podstaw Budowy Maszyn
inż. **Jakub Kopka** – Politechnika Łódzka