



## 1. Tytuł projektu:

Wysokosprawny, dwukierunkowy przekształtnik DC-DC o dużej gęstości mocy

## 2. Słowa kluczowe

Elektro-mobilność, pojazdy elektryczne, nieizolowany przekształtnik DC-DC, systemy mikrosieci DC, izolowany, dwukierunkowy przekształtnik DC-DC, dwukierunkowy przekształtnik AC-DC-DC-AC, inteligentne przetwarzanie energii

Electro-mobility, Electric Vehicle, Series/ Parallel-connection Design, Non-isolated Bidirectional DC-DC Converter, DC Micro-grid System, Isolated Bidirectional DC-DC Converter, Bidirectional AC-DC-DC-AC converter, smart energy preprocessing

## 3. Instytucja finansująca (nr umowy)

Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (PL-TW/VII/2/2020/1)

## 4. Okres realizacji

01.06.2020-31.05.2023

## 5. Dofinansowanie (w tym w 2021)

386 982,00 (193 491)

## 6. Partnerzy

National Taiwan University of Science and Technology

## 7. Kierownik projektu

Dr hab. inż. Marek Jasiński, prof. uczelni

## 8. Zespół projektowy

dr inż. Szymon Piasecki,

inż. Serafin Bachman,

dr inż. Piotr Grzejszczak,

mgr inż. Tomasz Gajowik,

mgr. inż. Tomasz Święchowicz,

mgr inż. Grzegorz Wrona.



### 9. Cel projektu (max. 1000 znaków)

W ramach projektu zostaną połączone siły uczelni i instytucji badawczych z Tajwanu i Polski. Mając na uwadze podniesienie jakości życia społeczeństwa jako cele postawiły sobie one:

- zwiększenie wykorzystania technologii zielonej energii i elektryfikacji pojazdów
- wizyty naukowe, wymianę badawczą i wielostronną współpracę akademicką.
- opracowanie i zbadanie dwukierunkowych przekształtników energoelektronicznych o wysokiej sprawności, gęstości mocy i niezawodności do pojazdów elektrycznych i zastosowań w energii odnawialnej.

### 10. Streszczenie (max. 1 strona)

Ze względu na przerywany charakter energii odnawialnej, magazynowanie energii jest kluczowe do zapewnienia ciągłości pracy, podwyższenia niezawodności i zrównoważonego wykorzystania energii elektrycznej. Gdy produkcja energii jest obfita należy zapewnić jej efektywne magazynowanie. Gdy energii brakuje, należy w sposób precyzyjnie kontrolowany uwolnić odpowiednią ilość energii do obciążenia. Akumulatory są najczęściej stosowaną formą magazynowania energii elektrycznej cechuje je elastyczność w przechowywaniu i uwalnianiu energii. Do przesyłania energii z szyny napięciowej do akumulatorowego układu magazynowania energii (battery energy storage system - BESS) lub z BESS do szyny napięciowej należy stosować dwukierunkowe przekształtniki energoelektroniczne.

Ten bilateralny projekt wpisujący się w tematykę "Energy efficiency technologies" na przestrzeni trzech lat ma na celu zaprojektowanie i implementację dwukierunkowych przekształtników mocy DC-DC do zastosowań w pojazdach elektrycznych i energetyce rozproszonej, wykorzystując zjawisko synergii bogatych (uzupełniających się doświadczeń) strony tajwańskiej i polskiej.

W pierwszym roku trwania projektu zostanie zbudowany i przetestowany dwukierunkowy aktywny przekształtnik DC-DC o mocy 10 kW i przetestowany pod kątem spełnienia wymagań zastosowań w pojazdach elektrycznych. Zostanie zbadana nowoczesna metoda sterowania pozwalająca na osiągnięcie wysokiej sprawności przetwarzania w szerokim zakresie zmiany obciążenia.

W drugim roku zostanie opracowany trójfazowy dwukierunkowy przekształtnik DC-DC o mocy 10 kW. Zostanie zbadana metoda sterowania łącząca potrójne przesunięcie fazowe i modulację wypełnienia w celu zmniejszenia strat i zwiększenia zakresu miękkiego przełączania przy zerowym napięciu ZVS.

W ostatnim roku zostanie opracowany i zaimplementowany trój-portowy potrójny aktywny dwukierunkowy przekształtnik mostkowy DC-DC o mocy 10 kW do zastosowań w inteligentnym przekształtniku osobistym mocy (personal power converter PPC) w pojazdach elektrycznych / systemach mikro-sieci.

W celu osiągnięcia pracy z wysoką częstotliwością przełączeń i dużą gęstość mocy, wszystkie dwukierunkowe przekształtniki DC-DC zostaną zbadane i opracowane przy użyciu szeroko-przerwowych przyrządów energoelektronicznych, takich jak np. SiC MOSFET i GaN HEMT. Nowe metody sterowania z nowatorskimi metodami pomiaru dadzą możliwość wykorzystania PPC w rehabilitacji osób starszych. W projekcie zostaną zaproponowane wysokosprawne izolowane i nieizolowane, dwukierunkowe przekształtniki dwukierunkowe wykorzystujące nowatorskie metody



sterowania i modulacji. Opracowane urządzenie będzie cechować obniżony stres napięciowy i prądowy przyrządów mocy oraz metody miękkiego przełączania w całym zakresie mocy. Wykorzystując szeroko-przerwowe przyrządy mocy zostaną zbudowane prototypowe przekształtniki o wysokiej gęstości mocy i zostanie zweryfikowana ich topologia i metody sterowania.

Zostanie zaproponowane i opracowane dokładne sterowanie o zwiększonej niezawodności przepływem energii pomiędzy trzyportowymi, dwukierunkowymi przekształtnikami DC-DC dla pojazdów elektrycznych i zastosowań w przetwarzaniu energii odnawialnej. Można wyróżnić następujące główne cele badawcze:

1. Opracowanie nowatorskich dwuportowych i trzyportowych dwukierunkowych przekształtników do pojazdów elektrycznych i systemów energii odnawialnej działających z wysoką częstotliwością przełączeń.

W celu osiągnięcia niezawodnej i dokładnej kontroli przepływu energii zostaną wdrożone nowatorskie topologie i metody sterowania.

2. Badanie zastosowania nowych technologii półprzewodnikowych w proponowanych dwukierunkowych przekształtnikach maksymalizujących sprawność / gęstość mocy całego układu.

3. Zbadanie specjalnej konstrukcji magnetycznej dla proponowanych rozwiązań w celu osiągnięcia wysokiej sprawności i odpowiedniego profilu wydajności.

4. Optymalizacja układu płytki drukowanej oraz przełączeń przyrządów GaN i SiC, a także określenie optymalnych technik modulacji w celu poprawy gęstości mocy, zmniejszenia wielkości i masy dwukierunkowych układów przekształtników.

5. Badanie i rozwój innowacyjnych technik estymacji strat mających na celu pomiar i określenie profilu zużycia energii czynnej poprzez monitorowanie wyłącznie parametrów elektrycznych dwukierunkowego systemu przekształtnikowego.

6. Montaż prototypu trzyportowego dwukierunkowego przekształtnika DC-DC o małym rozmiarze, wysokiej sprawności i tolerancji komponentów dla inteligentnego osobistego przekształtnika energii w pojazdach elektrycznych / systemach mikro-sieci.

### **11. Dotychczasowe osiągnięcia (max 2000 wyrazów)**

Przeprowadzono szereg badań symulacyjnych w programie PLECS oraz przygotowano projekt obwodów mocy w programie Altium. Na bazie współpracy z przemysłem, polską firmą Tward, zbudowano prototyp przekształtnika Dual Active Bridge (DAB) i porównano go z istniejącymi obecnie rozwiązaniami. Przeprowadzono badania laboratoryjne i zaimplementowano podstawowe metody sterowania.

### **12. Publikacje**

W trakcie przygotowania.

### 13. Materiały graficzne

## Introduction of DC-DC Transformer(DCX)

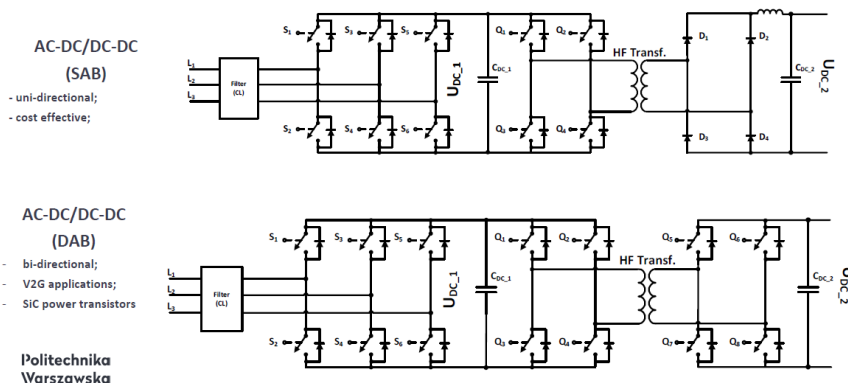
The diagram illustrates the DC-DC Transformer (DCX) architecture. It consists of two main stages: an **Isolated Front-End DC-DC** stage (highlighted in yellow) and a **Regulated The Second Stage DC-DC** stage (highlighted in white). The input is labeled **PRI\_Voltage Bus Input** and the output is labeled **SEC\_Voltage Bus Output**. The isolated front-end stage is represented by a yellow box with a diagonal line and 'DC' labels, while the second stage is a white box with a diagonal line and 'DC' labels.

- **Which provide :**
  - Isolated : Transformer Needed.
  - Fixed-Ratio : Unregulated is Acceptable.
  - Bi-directional Power Flow : Synchronize Rectification of Power Switches.
  - High Power Efficiency : ZCS or **ZVS** and SR Needed.
- **Common Topologies : LLC Resonant Converter and DAB.**

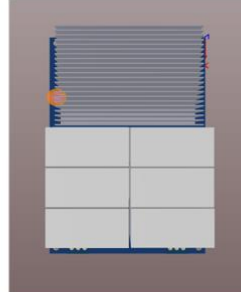
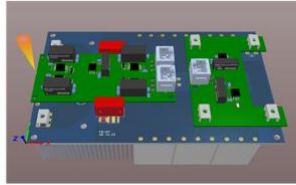
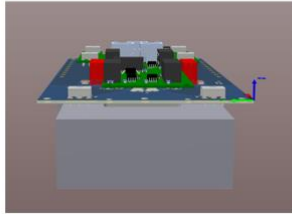
J. Xu et al., "PWM Modulation and Control Strategy for LLC-DCX Converter to Achieve Bidirectional Power Flow in Facing With Resonant Parameters Variation," in IEEE Access, vol. 7, pp. 54693-54704, 2019.

**TAIWAN TECH**      National Taiwan University of Science and Technology

#### Analyzed Topologies







FB – modular SiC transistors

Infineon F4-23MR12W1M1\_B11

Politechnika  
Warszawska

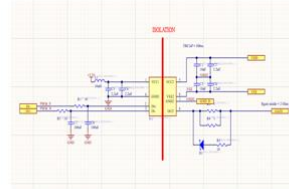
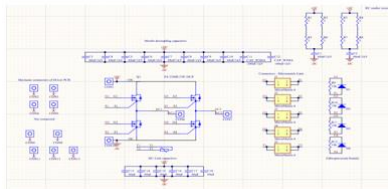
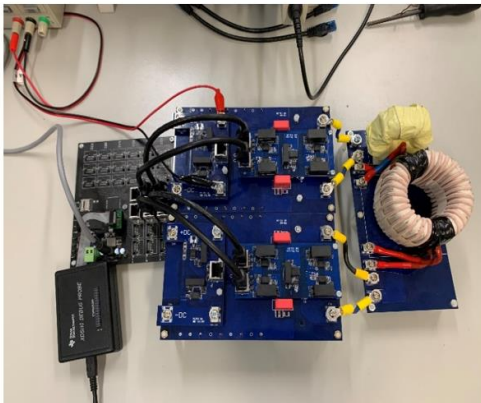


Figure 3/ Rysunek 3

Altium designer project.

Visualisations + Photos / Wizualizacje + Zdjęcia

Laboratory setup



Politechnika  
Warszawska

TABLE IV. NOMINAL PARAMETERS OF LABORATORY SETUP

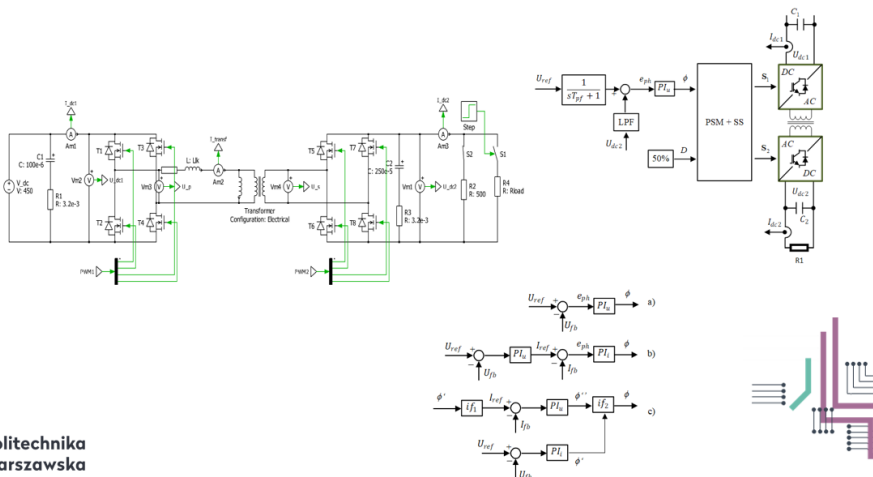
<b>V<sub>in</sub></b>	400V
<b>V<sub>out</sub></b>	300-500V
<b>I<sub>out</sub></b>	35A
<b>F<sub>sw</sub></b>	50 kHz
<b>P<sub>nom</sub></b>	10 kW
<b>Control method</b>	SPS
<b>Transformer</b>	1:1



Figure 4/ Rysunek 4:

Prototypes / Prototypy

### DAB – simulation and analysis



Politechnika  
Warszawska

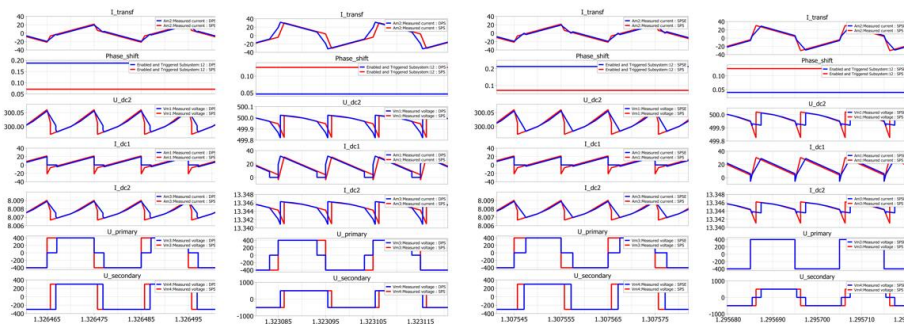
Figure 6/ Rysunek 6:

Simulation model / Model symulacyjny

### Simulation results + Laboratory results / Wyniki badań symulacyjnych+ Wyniki badań laboratoryjnych

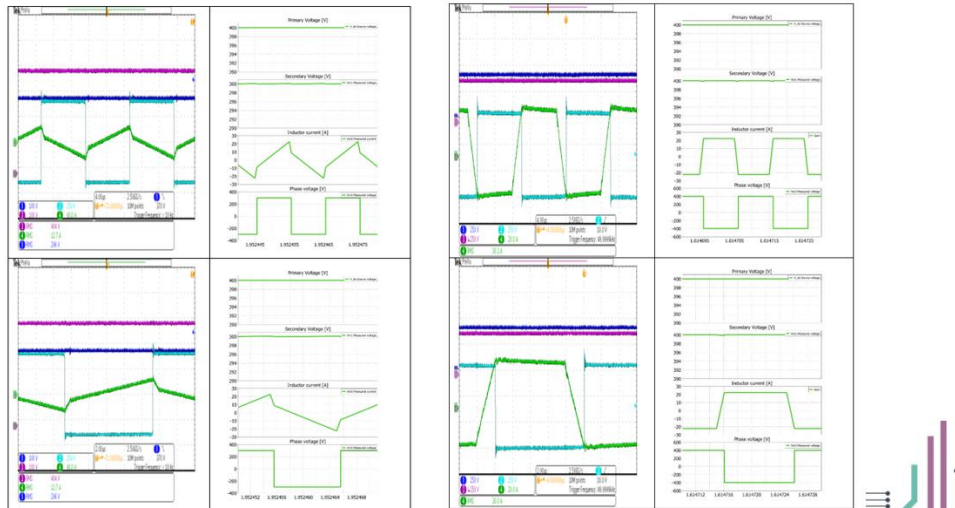
#### DAB – modulation strategies

10

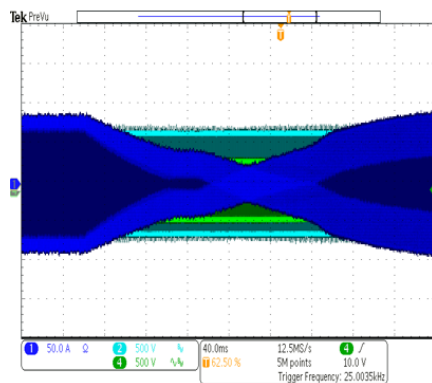


From the top,  $I_{transf}$  - primary transformer current, Phase shift,  $U_{dc2}$  - secondary DC link voltage,  $I_{dc1}$  - primary DC link current,  $I_{dc2}$  - secondary DC link current,  $U_{primary}$  - primary phase voltage after inductor,  $U_{secondary}$  - secondary phase voltage after inductor.

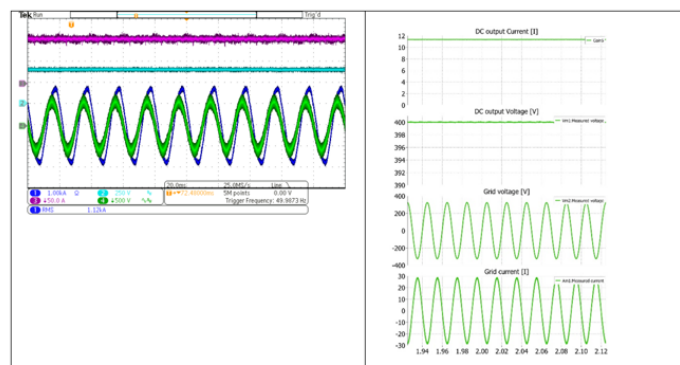
Politechnika  
Warszawska



CH3 purple – input DC voltage, CH1 blue – output DC voltage, CH2 cyan – inductor voltage, CH4 green – inductor current. On the right side from top: input primary DC voltage, output secondary DC voltage, inductor current, inductor voltage.



CH1 blue – inductor current, CH2 cyan – primary side AC voltage, CH4 green – secondary side AC voltage.



On the left: CH1 blue – AC grid current, CH2 cyan – primary side DC voltage, CH3 violet – secondary side DC current, CH4 green – AC grid voltage. On the right: dc output current, dc output voltage, grid voltage, grid current.

Figure 5/ Rysunek 5:

Simulation and experimental results/ Wyniki badań symulacyjnych i laboratoryjnych





**Instytut Sterowania i Elektroniki Przemysłowej**

**Acknowledgements / Podziękowania**

Special thanks to the National Centre for Research and Development 7th Polish-Taiwanese/Taiwanese-Polish Joint Research Call, Track 1, PL-TW/VII/2/2020

/

Specjalne podziękowania dla Narodowe Centrum Badań i Rozwoju Współpraca Polska - Tajwan, Konkurs 7 Ścieżka 1, PL-TW/VII/2/2020

**Logos of sponsoring and cooperating institutions / Loga instytucji sponsorujących i współpracujących**



**Politechnika  
Warszawska**

