



*Dr inż. Dariusz Zieliński  
Mgr inż. Karol Fatyga  
Katedra Napędów i Maszyn  
Elektrycznych*

## Wyzwania dwukierunkowego transferu energii

Konferencja

# PLUGinEV

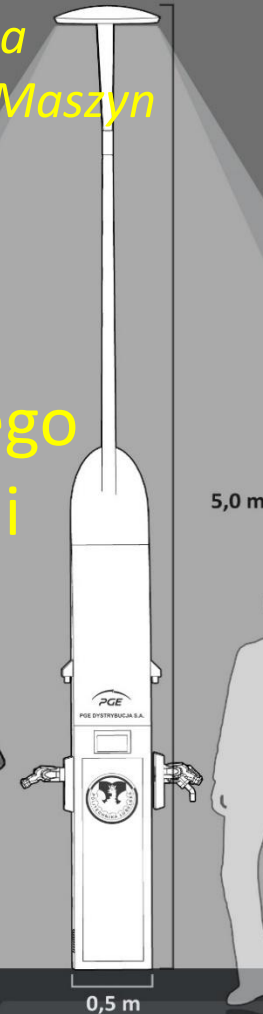
Układ ładowania pojazdów  
elektrycznych zintegrowany  
z infrastrukturą oświetleniową



Unia Europejska  
Europejski Fundusz  
Rozwoju Regionalnego



Lublin, 28.08.2020 r.



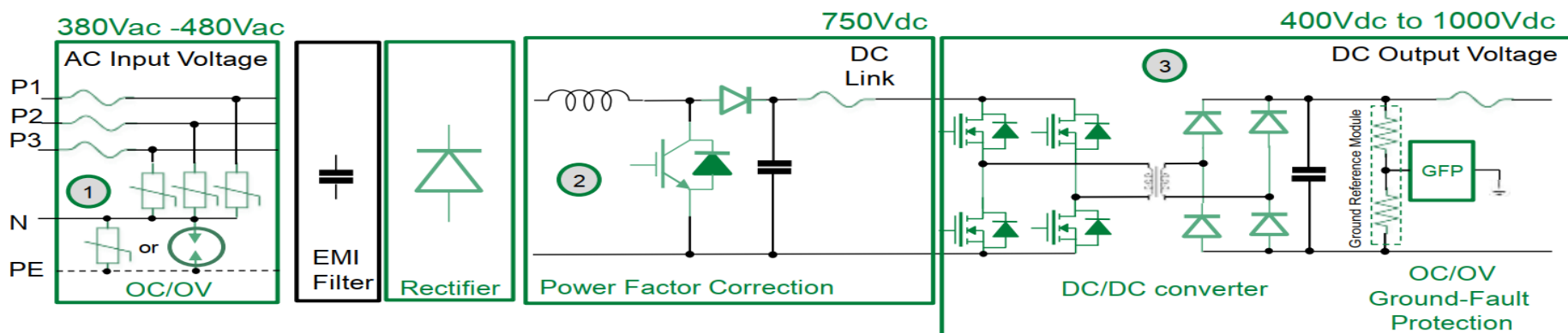
Fundusze  
Europejskie  
Inteligentny Rozwój



Unia Europejska  
Europejski Fundusz  
Rozwoju Regionalnego



## Typowa stacja ładowania pojazdów elektrycznych prądem stałym



$$A_{Core} A_{Wdg} = \frac{\sqrt{2}}{\pi} \frac{P_t}{k_W J_{rms} \hat{B}_{max} f}$$



Three-phase 200-V, 5-kVA,  
50-Hz Transformer

Single-phase, 250-V, 5-kVA,  
20-kHz Transformer



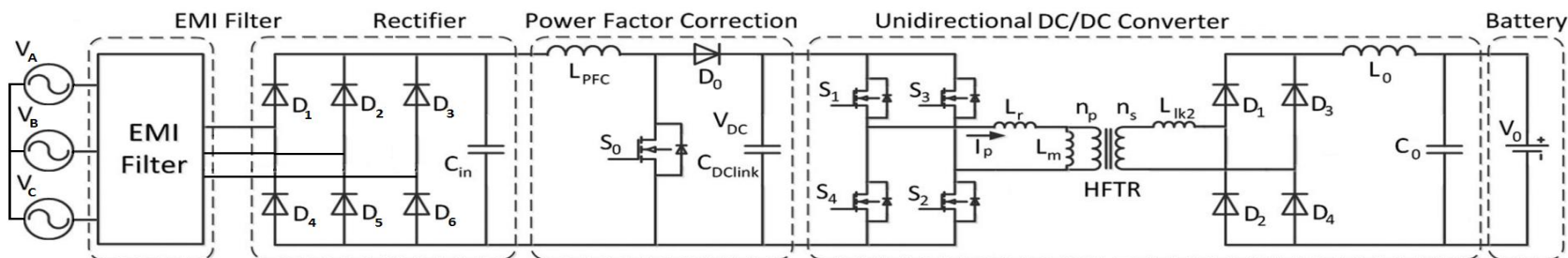
Fundusze Europejskie  
Inteligentny Rozwój



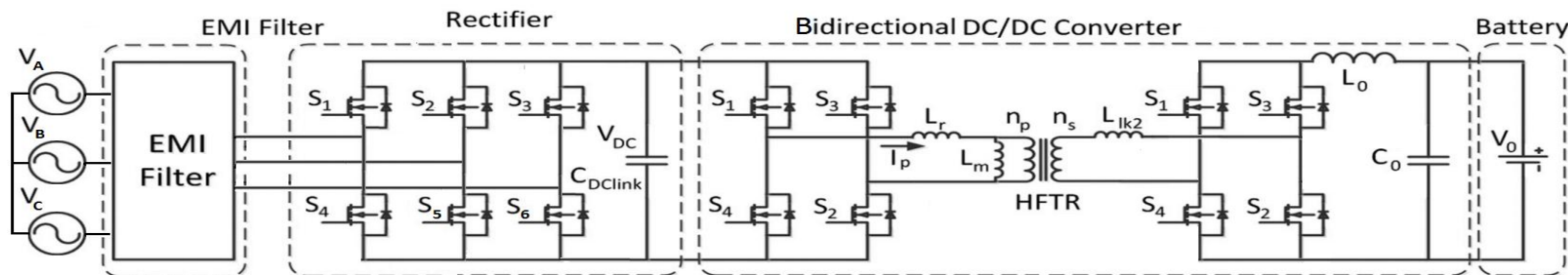
Unia Europejska  
Europejski Fundusz  
Rozwoju Regionalnego



## Rozwiązania układu ładowania



Jednokierunkowa stacja ładowania pojazdów – prostownik sześćo-pulsowy, układ korekcji współczynnika mocy, falownik jednofazowy średniej częstotliwości, prostownik diodowy



Dwukierunkowa stacja transferu energii – prostownik/falownik trójfazowy, przetwornica izolowana DC/DC w układzie podwójnego mostka aktywnego



Fundusze Europejskie  
Inteligentny Rozwój

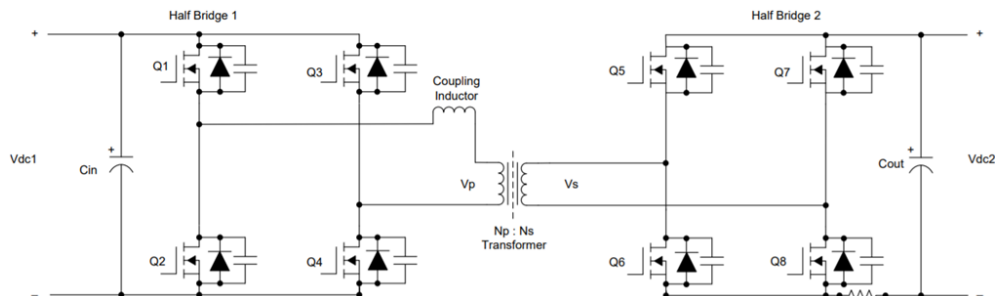


Unia Europejska  
Europejski Fundusz  
Rozwoju Regionalnego

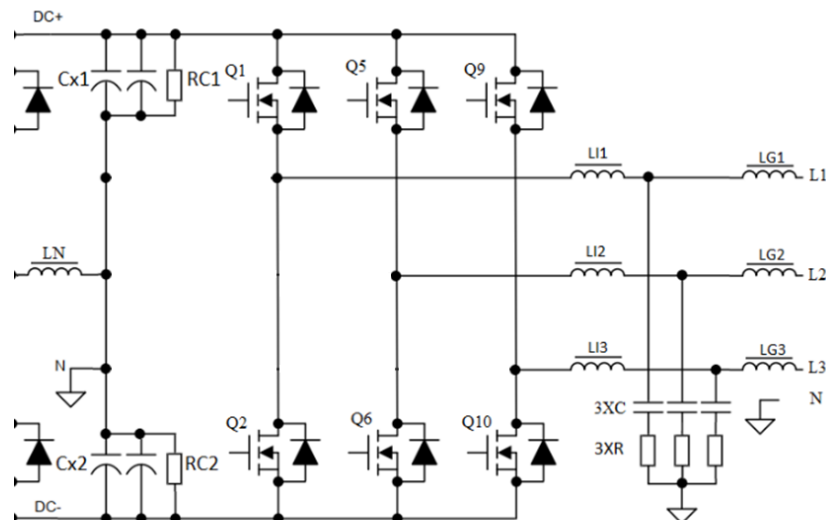


## Dobór topologii zapewniających możliwość przesyłania energii w obu kierunkach dla prostownika trójfazowego oraz przetwornicy DC/DC

Podwójny mostek aktywny – sterowany fazowo (DAB)



Trójfazowy aktywny prostownik podwyższający napięcie z filtrem LCL



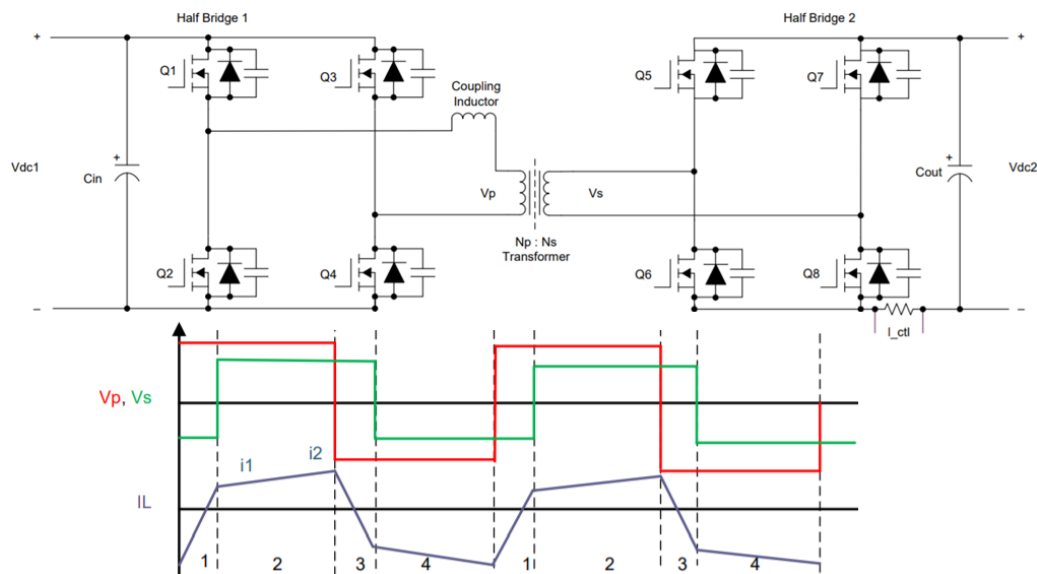
Fundusze Europejskie  
Inteligentny Rozwój



Unia Europejska  
Europejski Fundusz  
Rozwoju Regionalnego

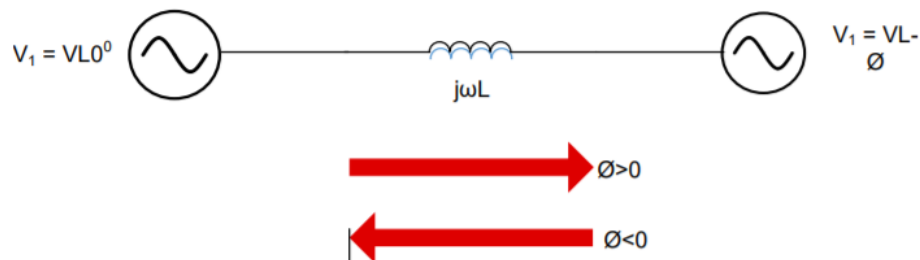


## Przetwornica DC/DC w układzie podwójnego mostka aktywnego



**Bardzo dobra dynamika zmiany kierunku przepływu energii**  
**Mały rozmiar układu przy wysokich częstotliwościach**  
**Bardzo wysoka gęstość mocy**  
**Zapewnienie izolacji galwanicznej**

$$P = \frac{nV_1 V_2 \varnothing \left(1 - \frac{\varnothing}{\pi}\right)}{(2\pi^2 F_S L)}$$



**Fundusze Europejskie**  
Inteligentny Rozwój



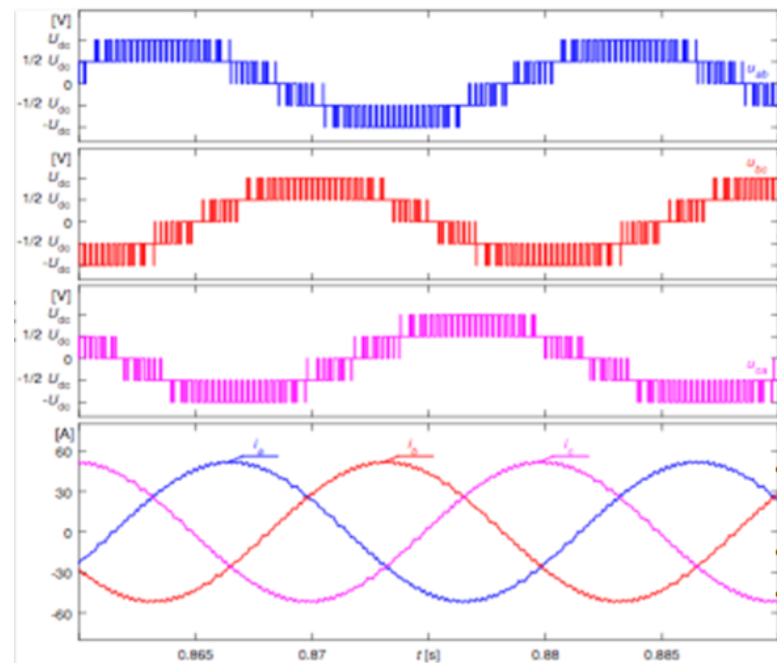
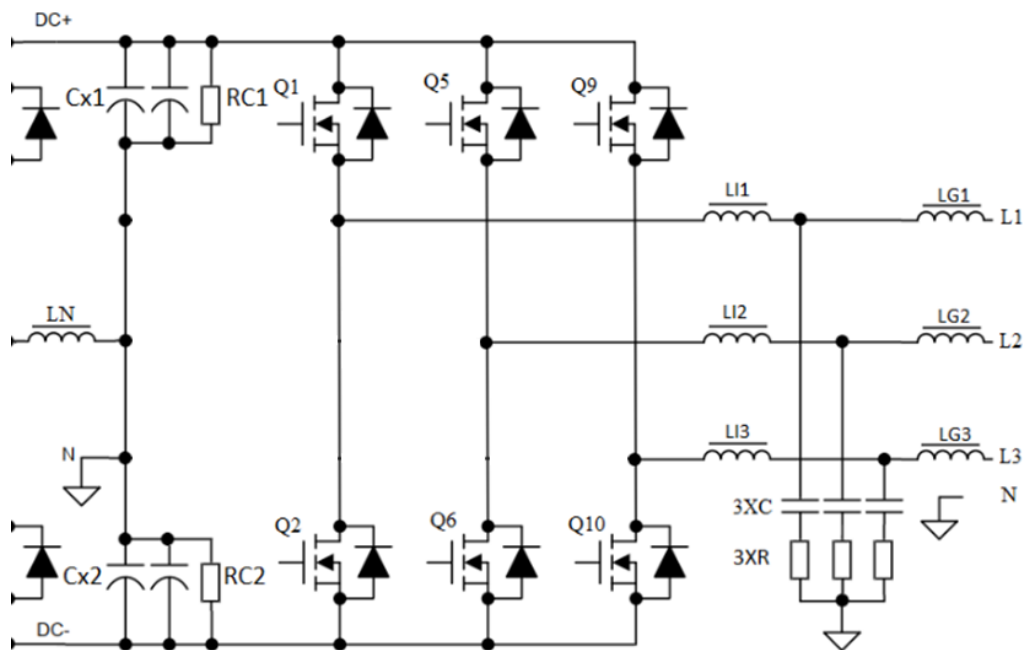
PGE Dystrybucja S.A.



**Unia Europejska**  
Europejski Fundusz  
Rozwoju Regionalnego



## Trójfazowy prostownik podwyższający napięcie z filtrem LCL



Układ dwukierunkowy  
 Płynna regulacja napięcia szyny DC  
 Płynna regulacja współczynnika mocy

THDi < 1 %



Fundusze Europejskie  
 Inteligentny Rozwój



Unia Europejska  
 Europejski Fundusz  
 Rozwoju Regionalnego





## Dobór elementów dla układu ładowania

LCL – 0.47mH + 0.07mH

4x 750uF – 900V

SiC MOSFET - 100A – 1200V



EMI Filter



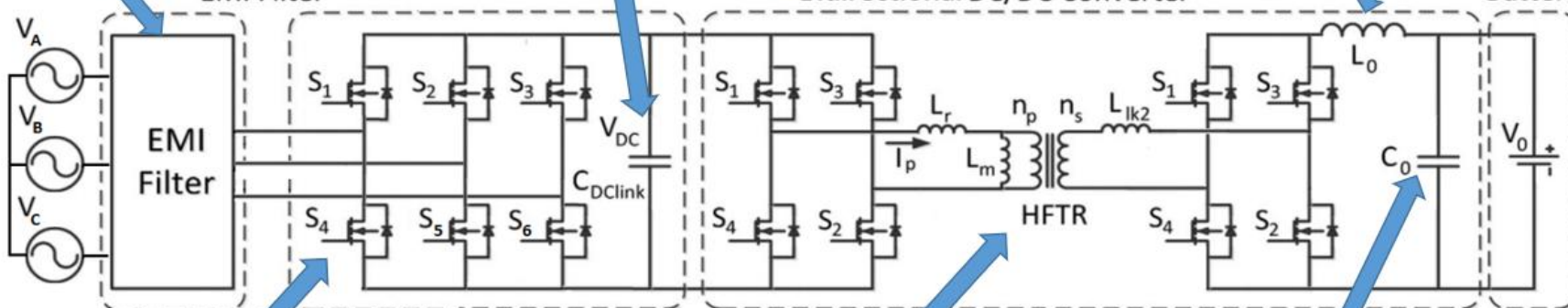
Rectifier



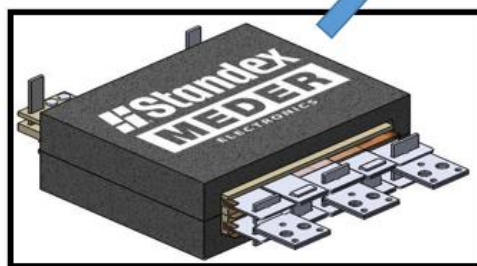
Bidirectional DC/DC Converter



Battery



Si IGBT - 200A – 1200V



133kHz - 50kW - n: 1.2:1



2x 85uF – 900V



Fundusze  
Europejskie  
Inteligentny Rozwój



PGE  
Dystrybucja S.A.



Unia Europejska  
Europejski Fundusz  
Rozwoju Regionalnego



## Transformator średniej częstotliwości dla przetwornicy DC/DC



Transformator 1  
10 kVA, 80 kG, 50 Hz

Transformator 2  
36 kVA 6 kG, 60 000 Hz

Transformator 3  
25 kVA 2,5 kG, 100 000 Hz

Transformator specjalny, poza typoszeregiem – rozwiązania projektowane od zera, dopasowywane do potrzeb klienta



Fundusze Europejskie  
Inteligentny Rozwój



Unia Europejska  
Europejski Fundusz  
Rozwoju Regionalnego





## Transformator średniej częstotliwości dla przetwornicy DC/DC

### LOGISTYKA

Zamówienie transformatora planarnego 100 kHz: złożenie zamówienia w centrali w Niemczech -> przesłanie wytycznych projektowych do Stanów Zjednoczonych -> zaprojektowanie uzwojenia transformatora -> zlecenie wykonania uzwojenia w Chinach -> montaż transformatora na rdzeniu -> transport do Stanów Zjednoczonych -> badania poprawności wykonania -> transport do centrali w Niemczech -> dostawa do klienta

### CZĘSTOTLIWOŚĆ 100 kHz

- Obniżona rozdzielczość sterowania – przy częstotliwości przełączania 100 kHz, pojedynczy krok sterowania (pojedynczy cykl zegara procesora sterującego wynosi 16 ns) to 0.3%, innymi słowy – zmiana sterowania o najmniejszą wartość powoduje zbyt dużą zmianę wielkości sterowanej
- Bardzo krótki czas na obliczenia/rekonfigurację: dla procesora o częstotliwości zegara 60 MHz, częstotliwość kluczowania 100 kHz daje czas na maksymalnie 600 kroków obliczeniowych od przzerwania do przzerwania – wymuszając konieczność drastycznej optymalizacji kodu sterującego. W tym momencie zaczynają się liczyć pojedyncze cykle zegara.

### TRANSFORMATOR PLANARNY

- Pojemność uzwojeń powodująca rezonans między transformatorem a szynami DC
- Niedopracowane przez producenta rozpraszanie ciepła



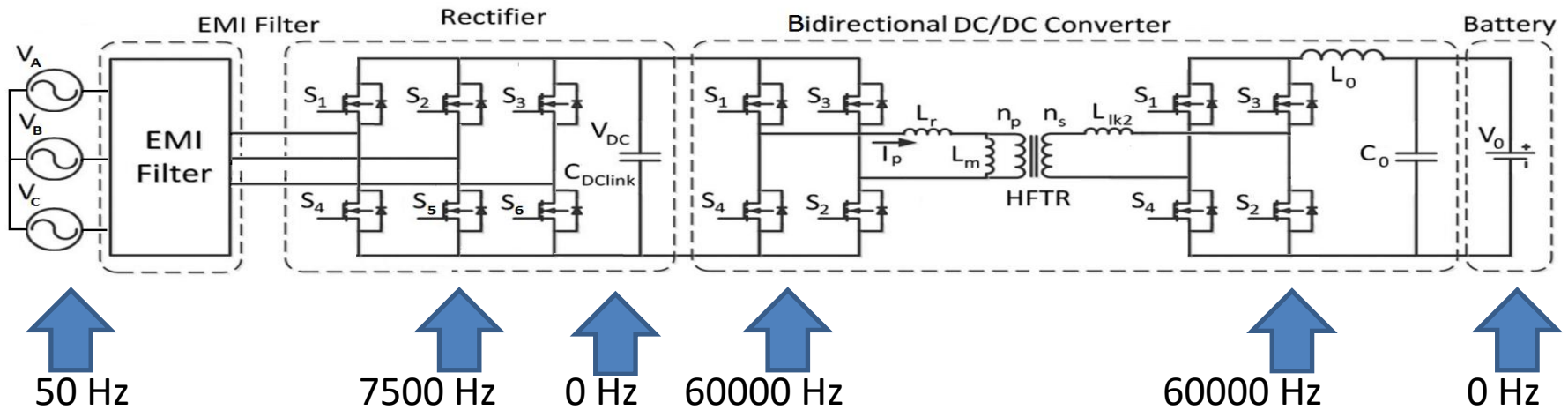
Fundusze Europejskie  
Inteligentny Rozwój



Unia Europejska  
Europejski Fundusz  
Rozwoju Regionalnego



## Połączenie szeregowe dwóch układów energoelektronicznych



- Połączenie układów o różnej dynamice działania (nawroty, zrzuty mocy, wahania napięć)
- Wymiana danych między modułami (wielkości sterujące, komunikacja błędów)
- Synchronizacja dwóch niezależnych algorytmów sterowania pracujących na wspólnej szynie DC



Fundusze Europejskie  
Inteligentny Rozwój

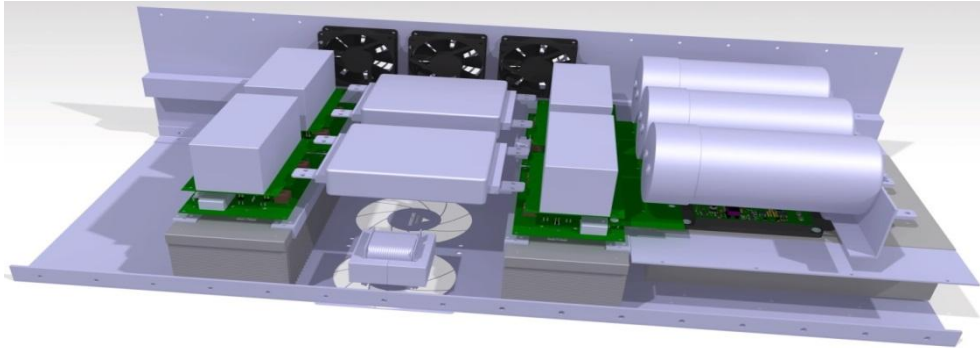


Unia Europejska  
Europejski Fundusz  
Rozwoju Regionalnego

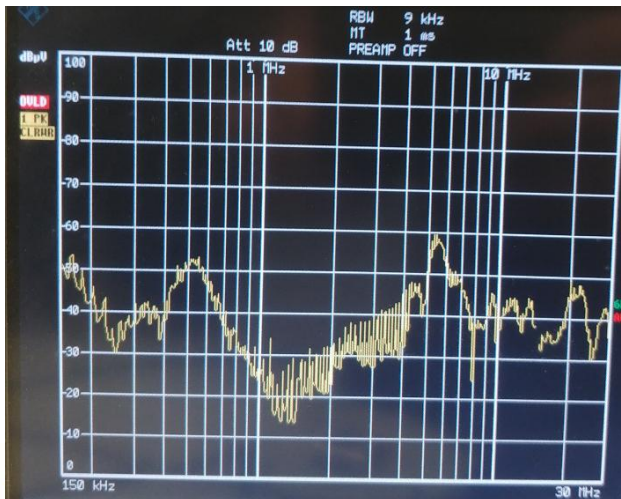


## Dalsze wyzwania

Optymalizacja mechaniczna układu



Spełnienie wymagań EMC



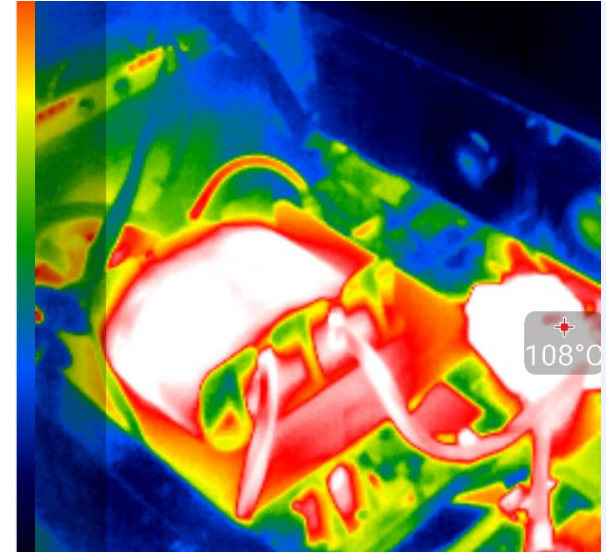
**Fundusze Europejskie**  
Inteligentny Rozwój



PGE Dystrybucja S.A.



Chłodzenie modułów mocy



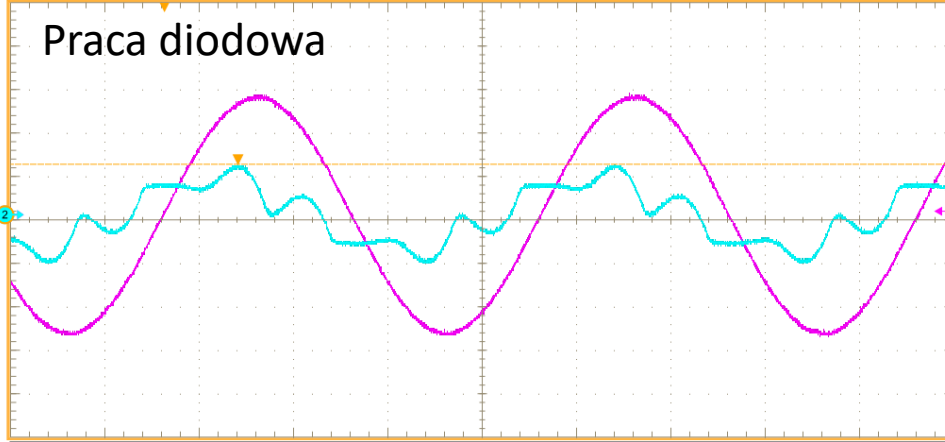
Zapewnienie zgodności z IEC  
61851-1, IEC 61851-23

**Unia Europejska**  
Europejski Fundusz  
Rozwoju Regionalnego

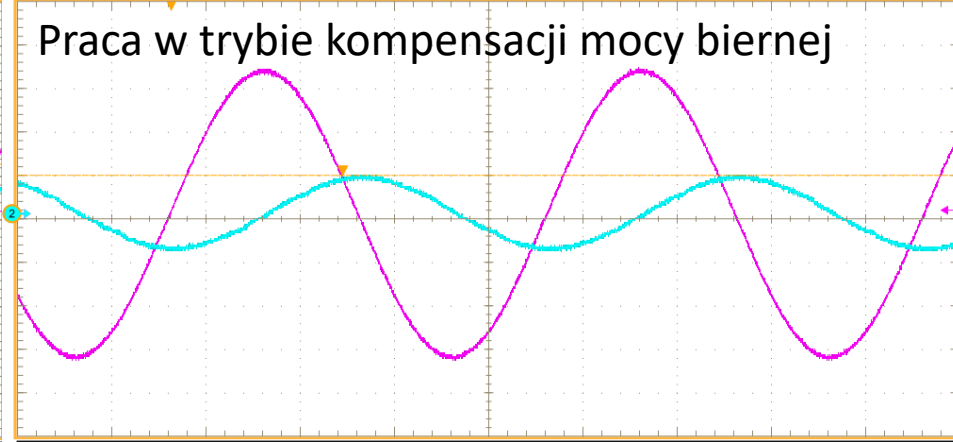


## Tryby pracy modułu AC/DC (pełna dwukierunkowość)

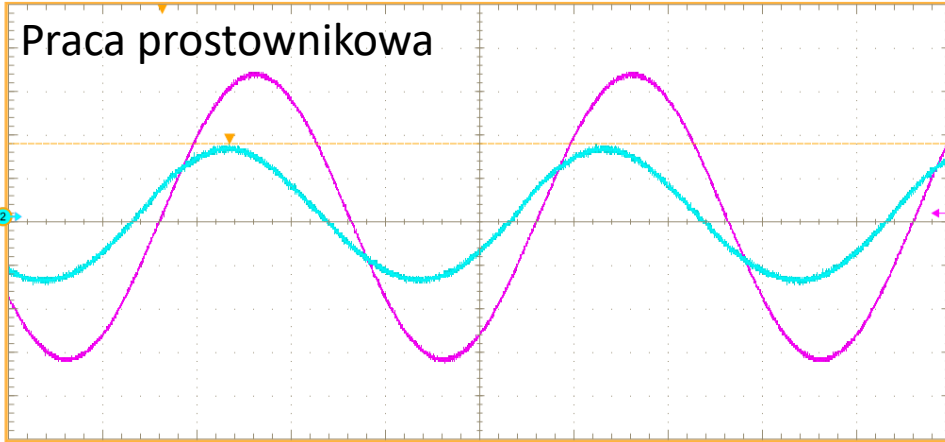
Praca diodowa



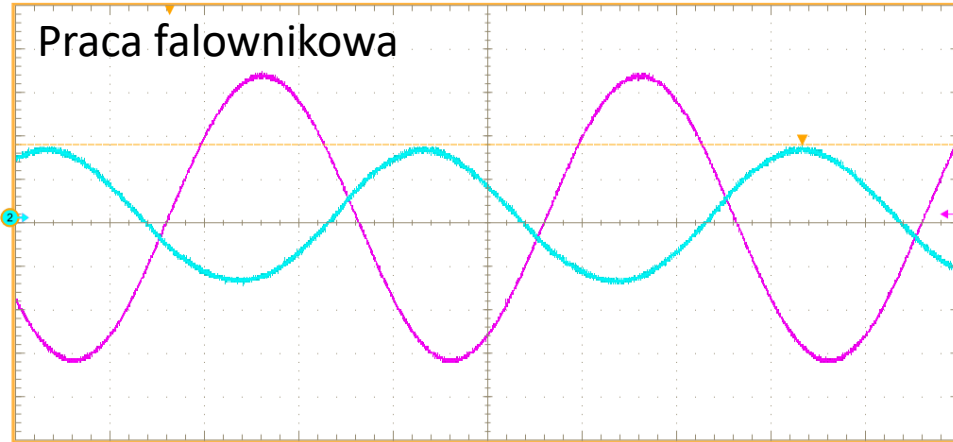
Praca w trybie kompensacji mocy biernej



Praca prostownikowa



Praca falownikowa



Fundusze Europejskie  
Inteligentny Rozwój

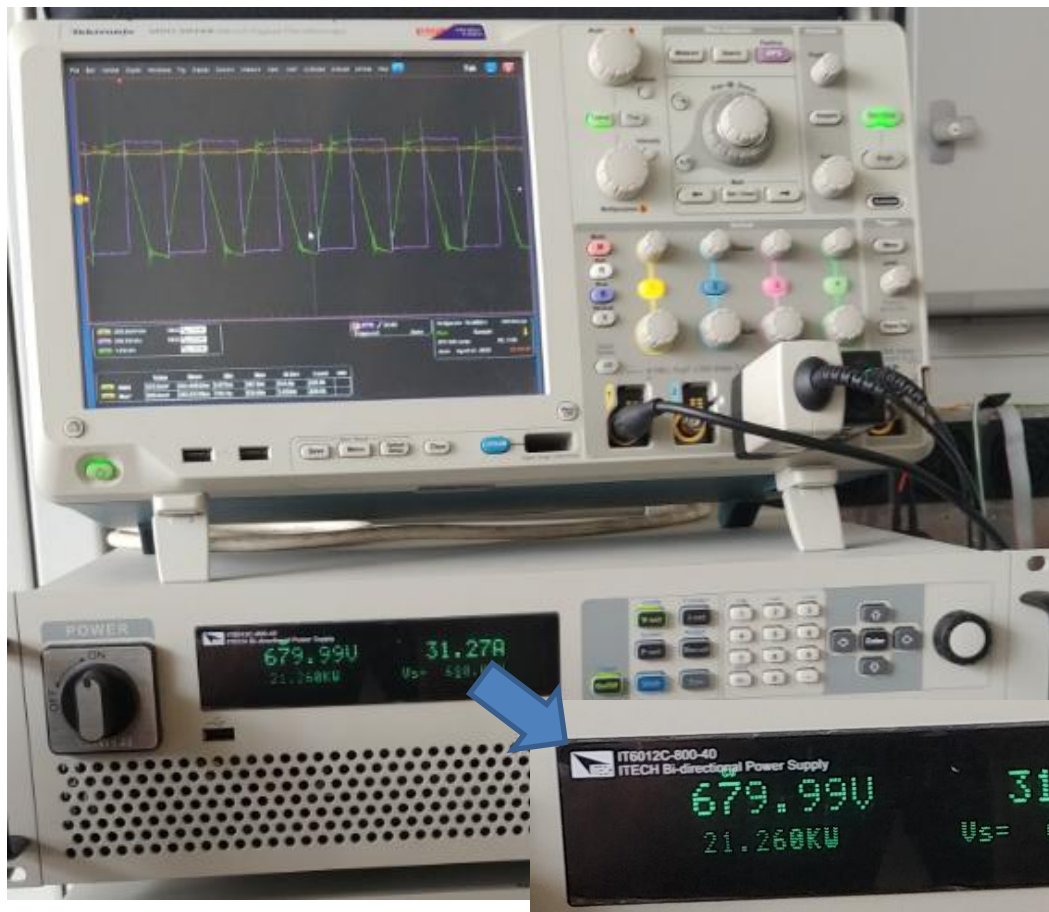


Unia Europejska  
Europejski Fundusz  
Rozwoju Regionalnego





## Testy pracy modułu DC/DC



Fundusze  
Europejskie  
Inteligentny Rozwój



Unia Europejska  
Europejski Fundusz  
Rozwoju Regionalnego





## Wyniki badań zgodności – test emisji harmonicznych do sieci elektroenergetycznej

### Average harmonic current results - Phase 1

Hn	I <sub>eff</sub> [A]	I <sub>eff</sub> [%]	Limit [%]	Result
1	25.928	100.236		
2	1.097	4.241	8.00	PASS
3	223.781E-3	0.865	21.60	PASS
4	45.034E-3	0.174		PASS
5	229.549E-3	0.887	10.70	PASS
6	12.860E-3	0.050		PASS
7	69.959E-3	0.270		PASS
8	9.680E-3	0.037		PASS
9	21.341E-3	0.083		PASS
10	5.723E-3	0.022		PASS
11	26.203E-3	0.101		PASS
12	5.258E-3	0.020		PASS
13	11.069E-3	0.043		PASS
14	9.843E-3	0.038		PASS
15	9.734E-3	0.038		PASS
16	13.002E-3	0.050		PASS
17	14.412E-3	0.056		PASS
18	4.602E-3	0.018		PASS
19	24.995E-3	0.097		PASS
20	5.147E-3	0.020		PASS



**Fundusze Europejskie**  
Inteligentny Rozwój



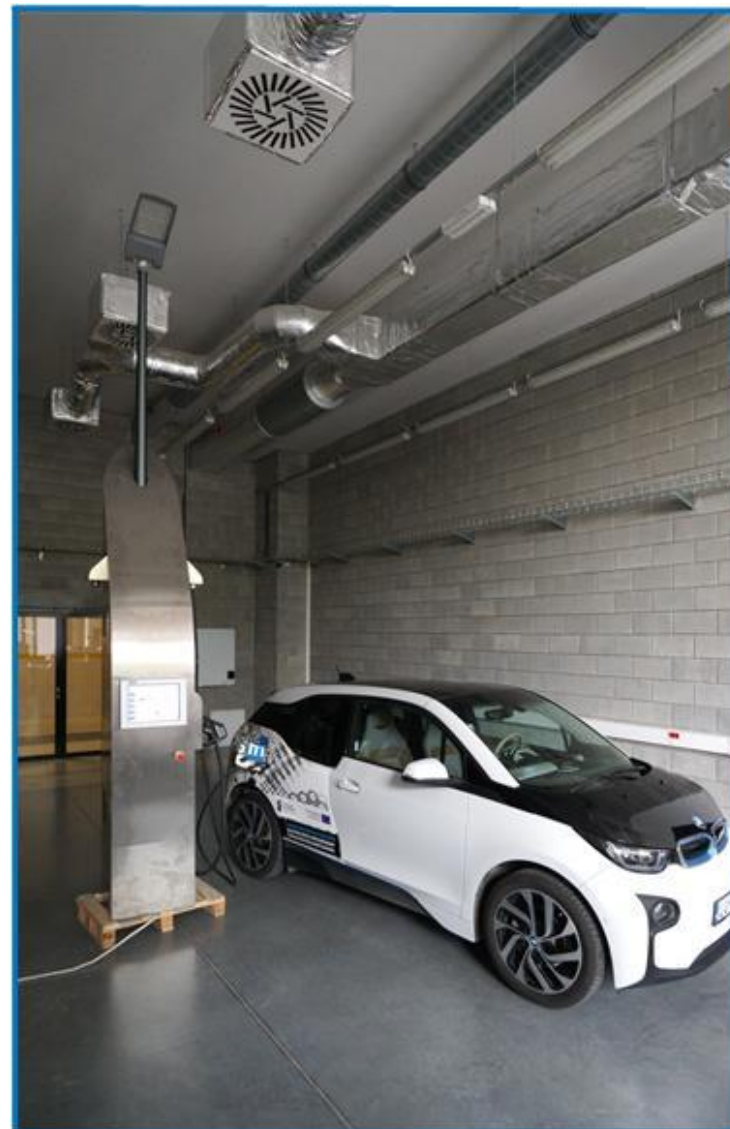
**Unia Europejska**  
Europejski Fundusz  
Rozwoju Regionalnego



Dziękuję za uwagę

Dr inż. Dariusz Zieliński  
Mgr inż. Karol Fatyga

e-mail: [d.zielinski@pollub.pl](mailto:d.zielinski@pollub.pl),  
[k.fatyga@pollub.pl](mailto:k.fatyga@pollub.pl)



Fundusze Europejskie  
Inteligentny Rozwój



PGE Dystrybucja S.A.



Unia Europejska  
Europejski Fundusz  
Rozwoju Regionalnego

