PELMOB

University of Pristina
Kosovska Mitrovica

Funded by
the European Union

FACULTY OF
TECHNICAL SCIENCES
KOSOVSKA MITROVICA

# D5.4 Undergraduate/Master Curricula Implemented

## Наслов наставног предмета

# Енергетски претварачи

## Наслов презентације

# Двострани енергетски претварачи за електрична возила – V2G (Vehicle-to-Grid) технологија


## др Саша Штаткић



"Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union. Neither the European Union nor the granting authority can be."

**Partnership for Promotion and Popularization of Electrical Mobility through Transformation and Modernization of WB HEIs Study Programs/PELMOB**

Call: ERASMUS-EDU-2022-CBHE-STRAND-2

Project Number: 101082860

PELMOB

Funded by the European Union

University of Pristina Kosovska Mitrovica

FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES KOSOVSKA MITROVICA

https://pr.ac.rs/

Partnership for Promotion and Popularization of Electrical Mobility through Transformation and Modernization of WB HEIs Study Programs / PELMOB

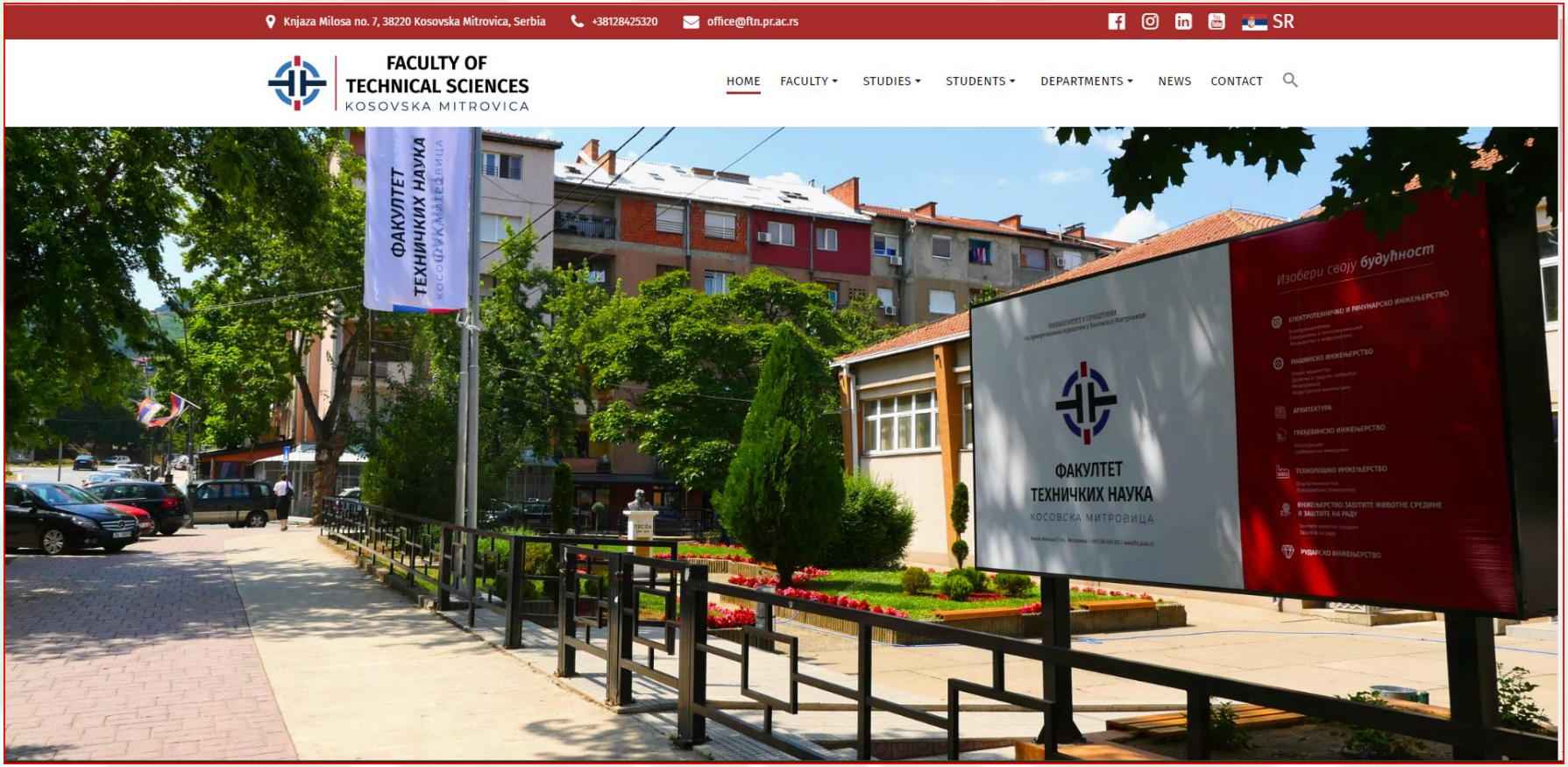
PELMOB

Funded by the European Union

University of Pristina Kosovska Mitrovica

FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES KOSOVSKA MITROVICA

https://ftn.pr.ac.rs/



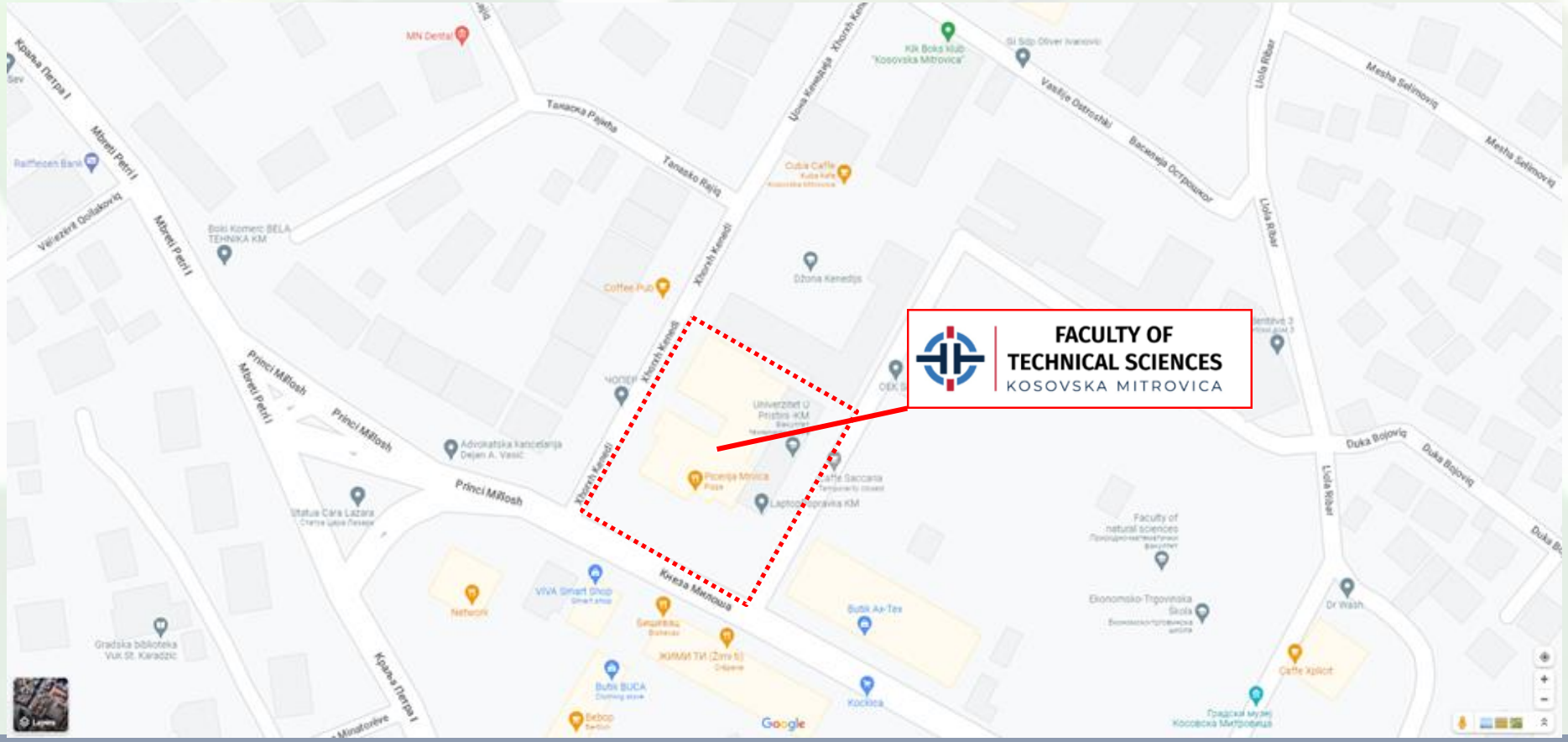
PELMOB

Funded by the European Union

University of Pristina Kosovska Mitrovica

FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES KOSOVSKA MITROVICA

https://www.google.rs/maps/@42.8979479,20.8656299,19z



PELMOB

Funded by the European Union

University of Pristina Kosovska Mitrovica

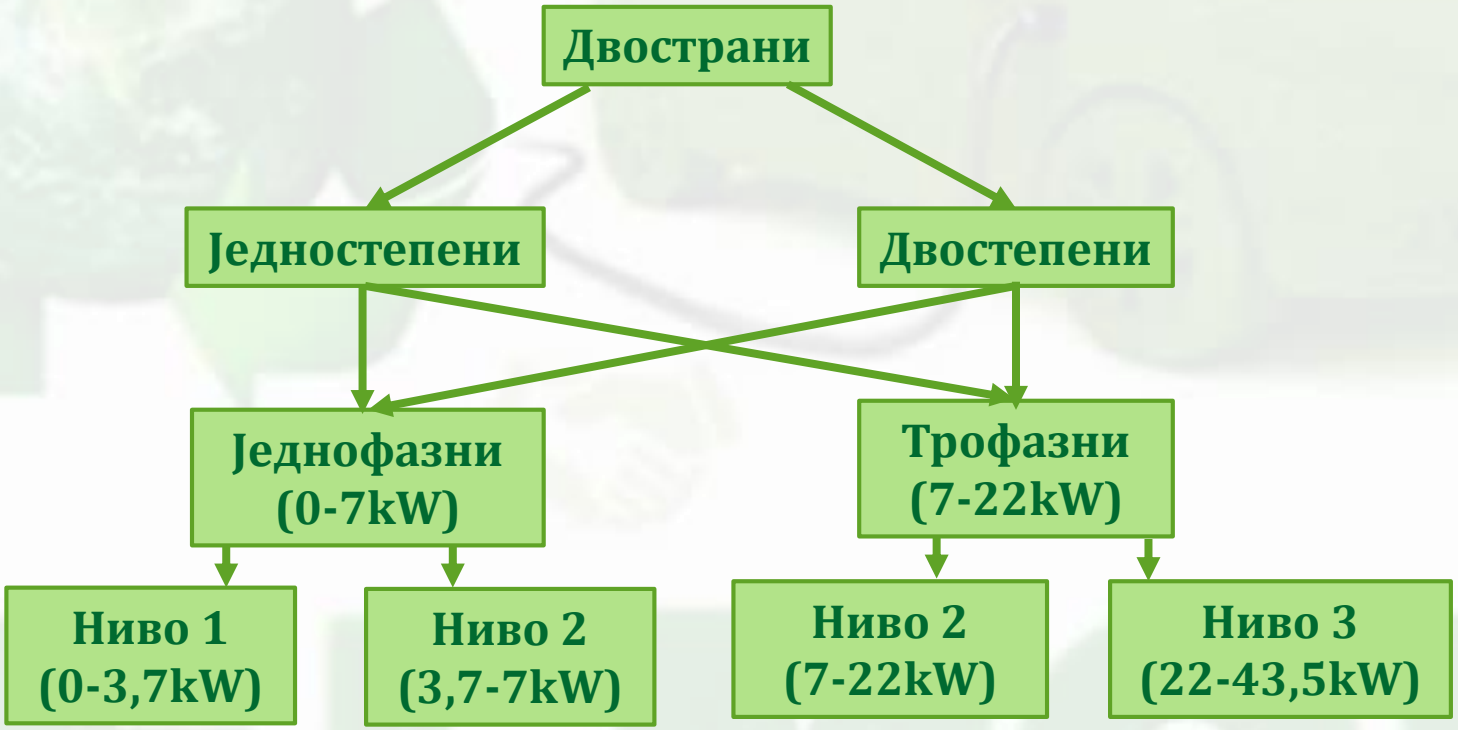
FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES
KOSOVSKA MITROVICA

Partnership for Promotion and Popularization of Electrical Mobility through Transformation and Modernization of WB HEIs Study Programs / PELMOB

# Двострани енергетски претварачи за електрична возила – V2G (Возило - у- мрежу ) технологија

Funded by the European Union
FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES
KOSOVSKA MITROVICA

## Подела двостраних претварача код уграђених пуњача батерија, On-board Chargers (OBC)



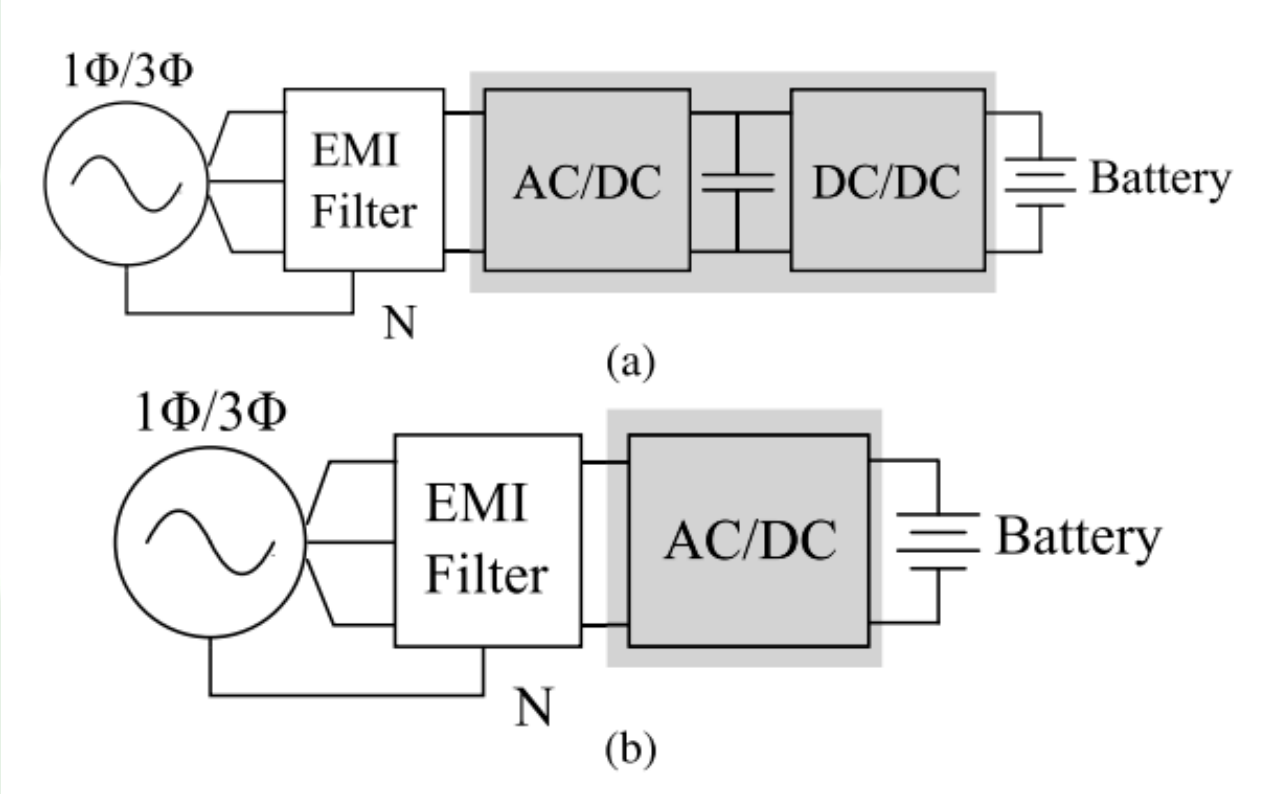

**On-board Chargers (OBC) - Уграђени пуњачи батерија**

**V2G (Vehicle-to-Grid) - Возило - у- мрежу (Пренос енергије из батерија на возилу у напојну мрежу преко двостраног претварача)**

# Конфигурације двостраних пуњача батерија уграђених у возилу (OBC)

(a) Двостепена архитектура

(b) Једностепена архитектура

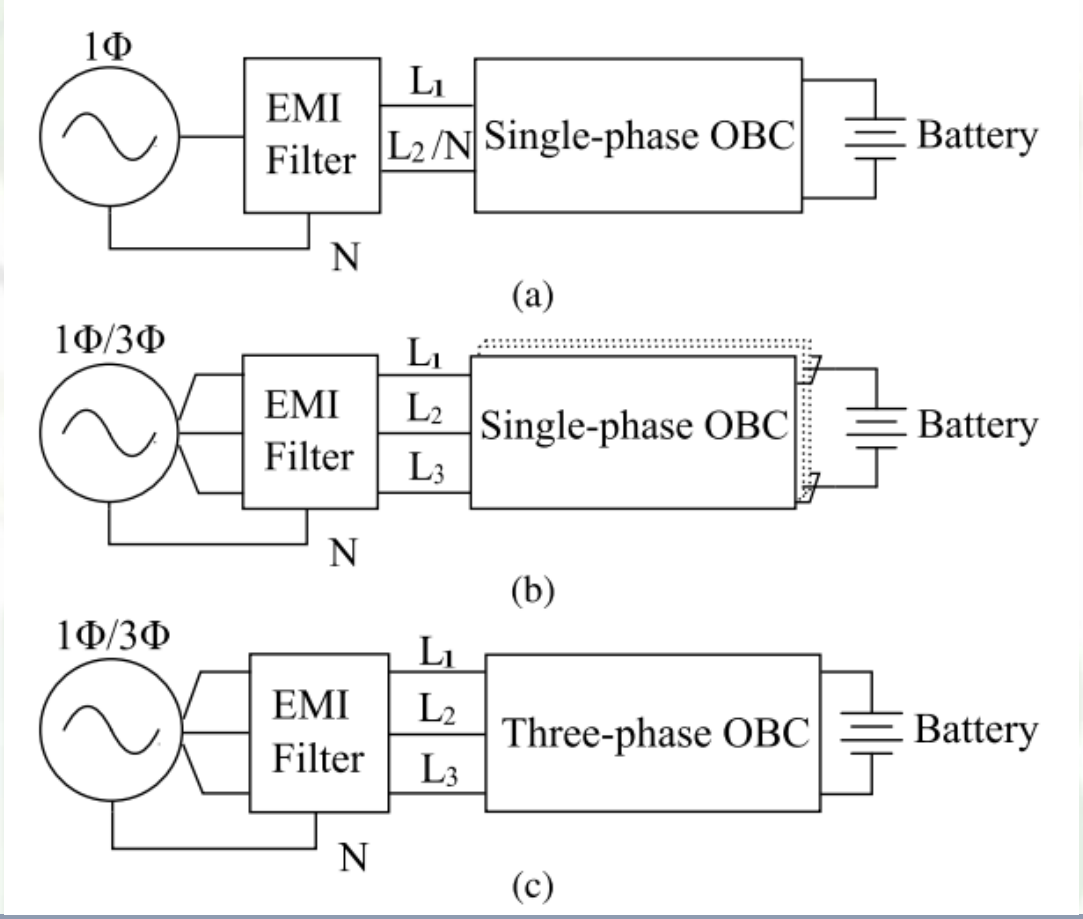


## Врсте улазних напајања двостраних пуњача батерија уграђених у возилу (OBC)

(a) Једнофазно напајање

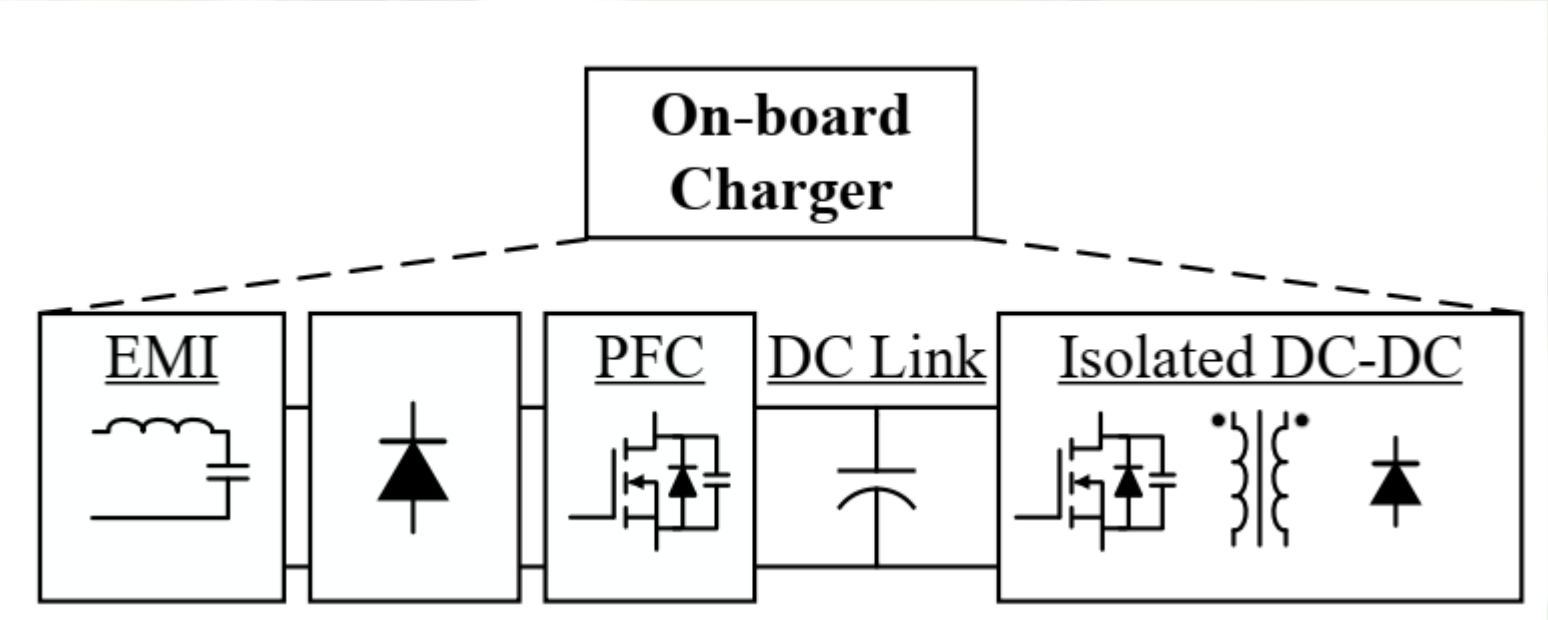
(b) Модуларно једнофазно напајање

(c) Трофазно напајање



## Блок дијаграм једностраног пуњача батерија уграђених у возилу (OBC)

### On-board Chargers (OBC) - Уграђени пуњачи батерија



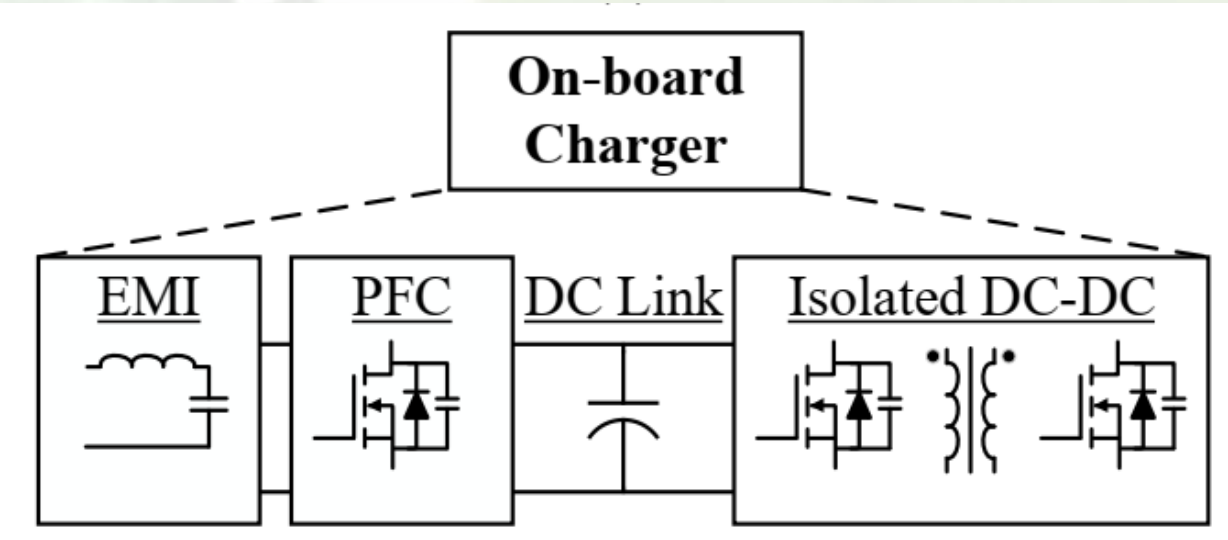

**Проток снаге је на једну страну (једнострано напајање), од мреже ка батерији (пуњење батерије).**

# Двострани енергетски претварачи за електрична возила – V2G (Vehicle-to-Grid) технологија

Funded by the European Union
FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES KOSOVSKA MITROVICA

## Блок дијаграм двостраног пуњача батерија уграђених у возилу (OBC)

### On-board Chargers (OBC) - Уграђени пуњачи батерија




**Пуњење батерије**

**Пражњење батерије**

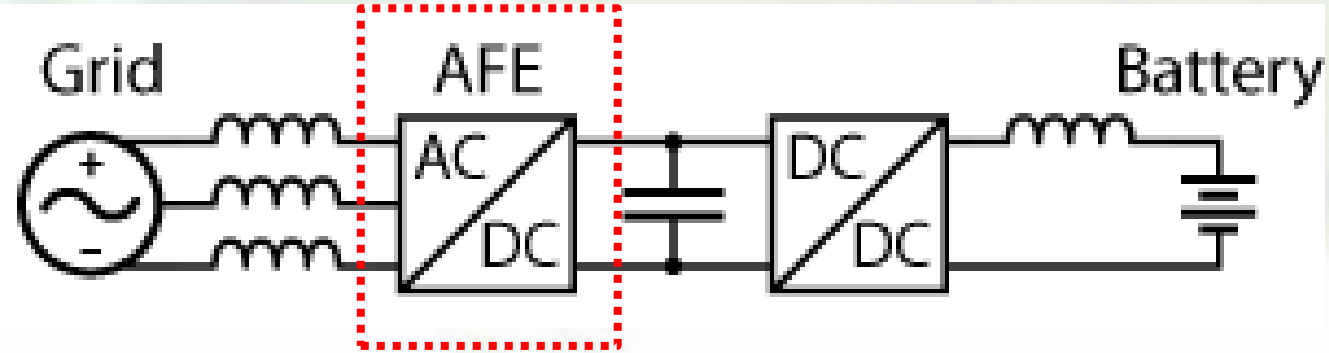
**Проток снаге може бити на две стране (двострано напајање), од мреже ка батерији (пуњење батерије) и од батерије ка мрежи (пражњење батерије).**

# Двострани енергетски претварачи за електрична возила – V2G (Vehicle-to-Grid) технологија

Funded by the European Union
FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES
KOSOVSKA MITROVICA

## Топологије двостраних претварача за пуњаче батерија уграђених у возилу (OBC)

**Активни исправљачи (Active Front End - AFE) припадају фамилији управљивих исправљача**




**Активни исправљач**

**Управљиви исправљач (AC – DC)**

**Active Front End (AFE) - Буквални превод је: „Активни улазни степен“, или „Активни улазни крај“. Односи се на улазни степен или улазни крај комплетног претварача (пуњача).**

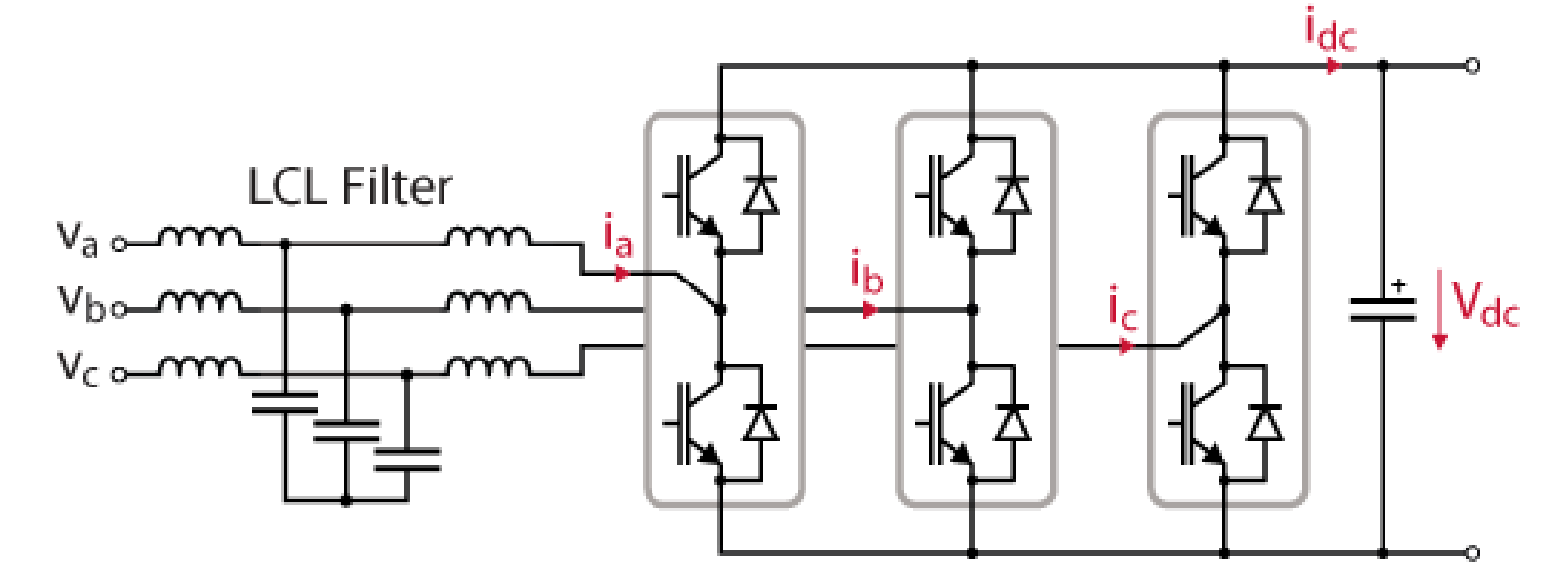
**Active Front End – (AFE) - Активни исправљач – Устаљени превод у домаћој стручној литератури**

# Двострани енергетски претварачи за електрична возила – V2G (Vehicle-to-Grid) технологија

Funded by the European Union
FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES
KOSOVSKA MITROVICA

## Топологије двостраних претварача за пуњаче батерија уграђених у возилу (OBC)

### Уобичајена топологија активног исправљача




**Активни исправљач** припада породици управљивих исправљача који служе претварању наизменичне (AC) у једносмерну струју (DC). За разлику од традиционалних диодних исправљача, **активни исправљач** омогућава **двострани (двоусмерени) проток енергије** (тј. регенеративно враћање снаге у мрежу) и активно обликује таласни облик струје како би се постигао **низак фактор укупне хармонијске дисторзије (THD) струје** и **висок фактор снаге**. У пракси, активни исправљач се обично користи у комбинацији са **LCL филтром** ради додатног смањења хармоника.

PELMOB

University of Pristina
Kosovska Mitrovica

Funded by
the European Union

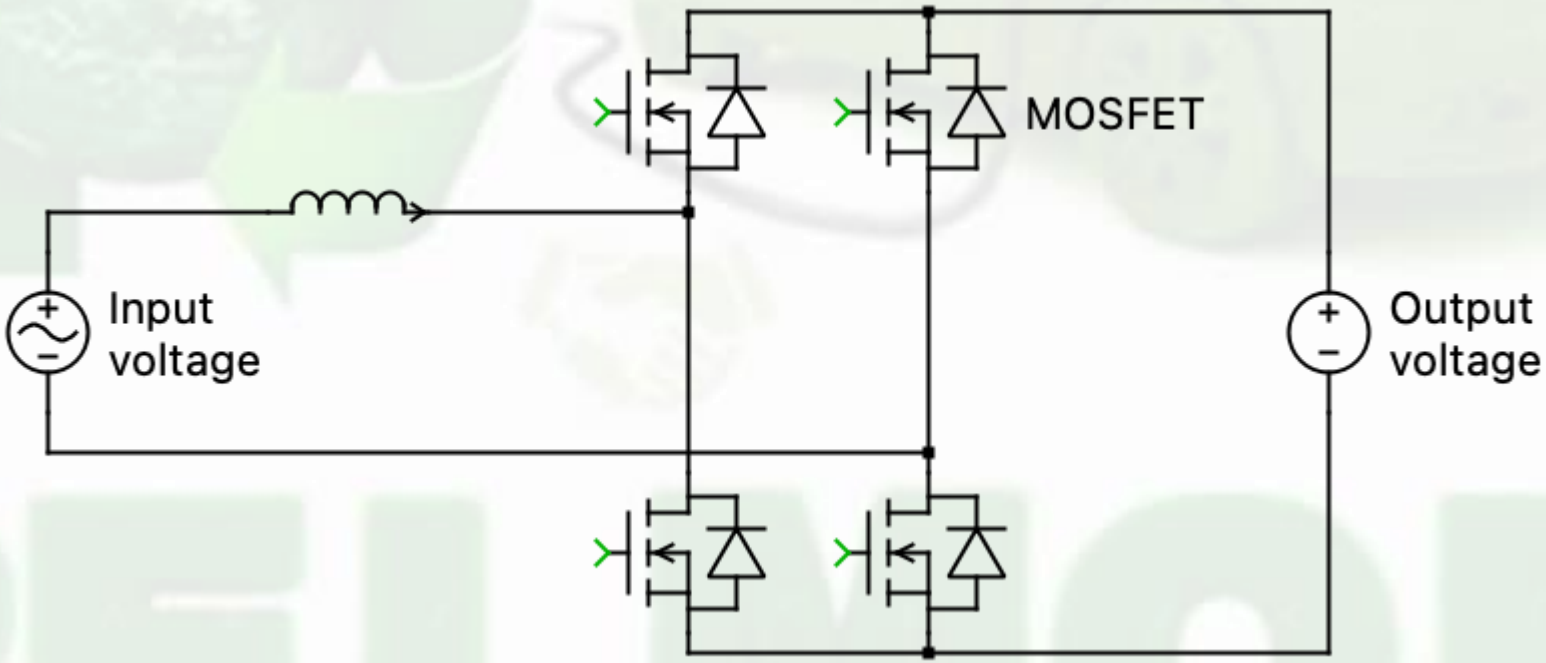
FACULTY OF
TECHNICAL SCIENCES
KOSOVSKA MITROVICA

# Двострани енергетски претварачи за електрична возила – V2G (Vehicle-to-Grid) технологија

## Топологије двостраних претварача за пуњаче батерија уграђених у возилу (OBC)

## Single Phase 2-Level Active Front End (AFE)

## Једнофазни двонивојски активни исправљач



PELMOB

University of Pristina
Kosovska Mitrovica

# Двострани енергетски претварачи за електрична возила – V2G (Vehicle-to-Grid) технологија

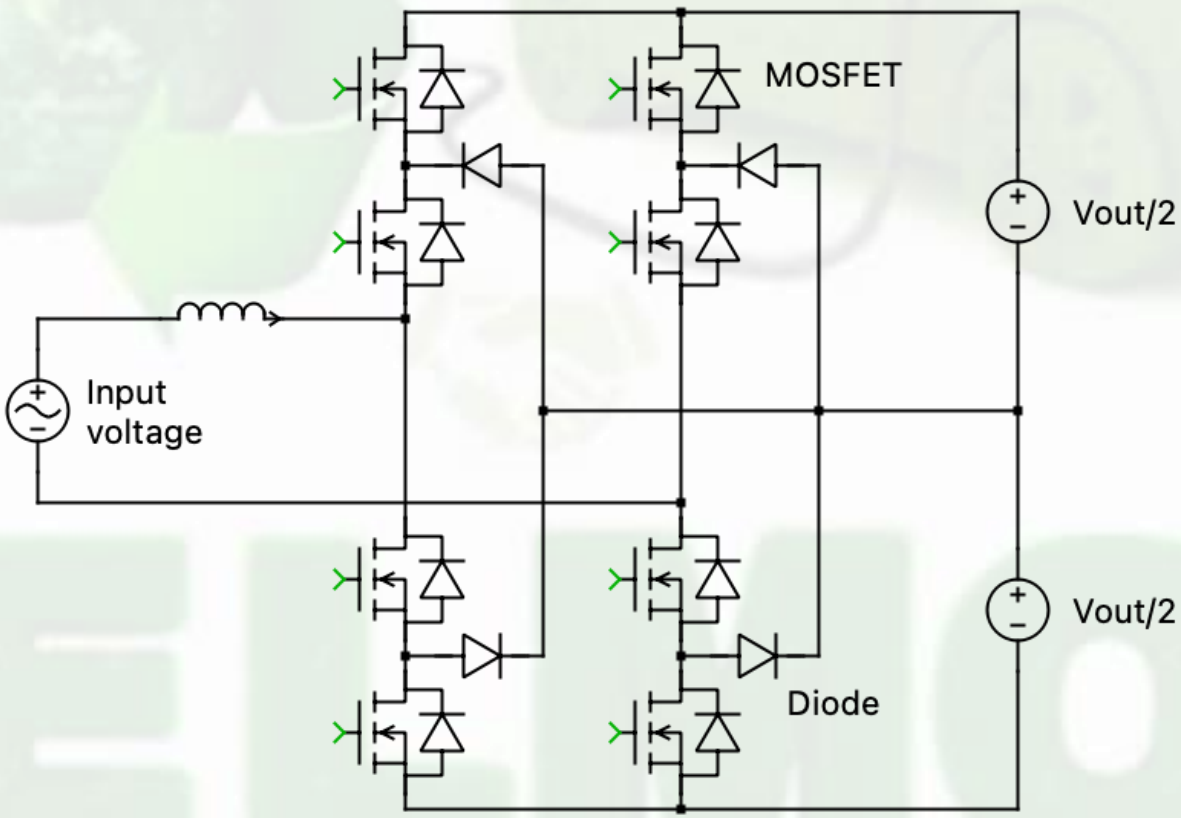
Funded by the European Union

FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES
KOSOVSKA MITROVICA

## Топологије двостраних претварача за пуњаче батерија уграђених у возилу (OBC)

### Једнофазни тронивојски активни исправљач (AFE) са неутралном тачком (NPC)

### Single Phase 3-Level Neutral-Point Clamped (NPC) Active Front End (AFE)



# Двострани енергетски претварачи за електрична возила – V2G (Vehicle-to-Grid) технологија

Funded by the European Union
FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES KOSOVSKA MITROVICA

## Упоредне к-ка: једнофазни двонивојски и једнофазни тронивојски двострани (активни ) исправљач

| Карактеристика | Single Phase 2-Level AFE | Single Phase 3-Level NPC AFE |
|---|---|---|
| Број нивоа излазног напона | 2 (позитивни, негативни) | 3 (позитивни, нулта, негативни) |
| Сложеност кола | Једноставнији дизајн | Сложенији (додатни транзистори и диоде) |
| Хармонско изобличење (THD) | Веће THD (виши хармоници) | Нижи THD (боља синусоида) |
| Ефикасност | Нешто виша | Нешто нижа (због додатних губитака) |
| Напонски стрес компоненти | Виши (пуни DC линк напон) | Нижи (пола DC линк напона по транзистору) |
| Модулациона техника | PWM (обична) | PWM са више нивоа |
| Регенеративни режим | Подржава | Подржава |
| Примена | Јефтинији системи, мање захтевни | Висококвалитетни погони (индустрија, ВЕУ) |
| Цена | Нижа | Виша (због сложености) |

PELMOB

University of Pristina
Kosovska Mitrovica

Funded by
the European Union

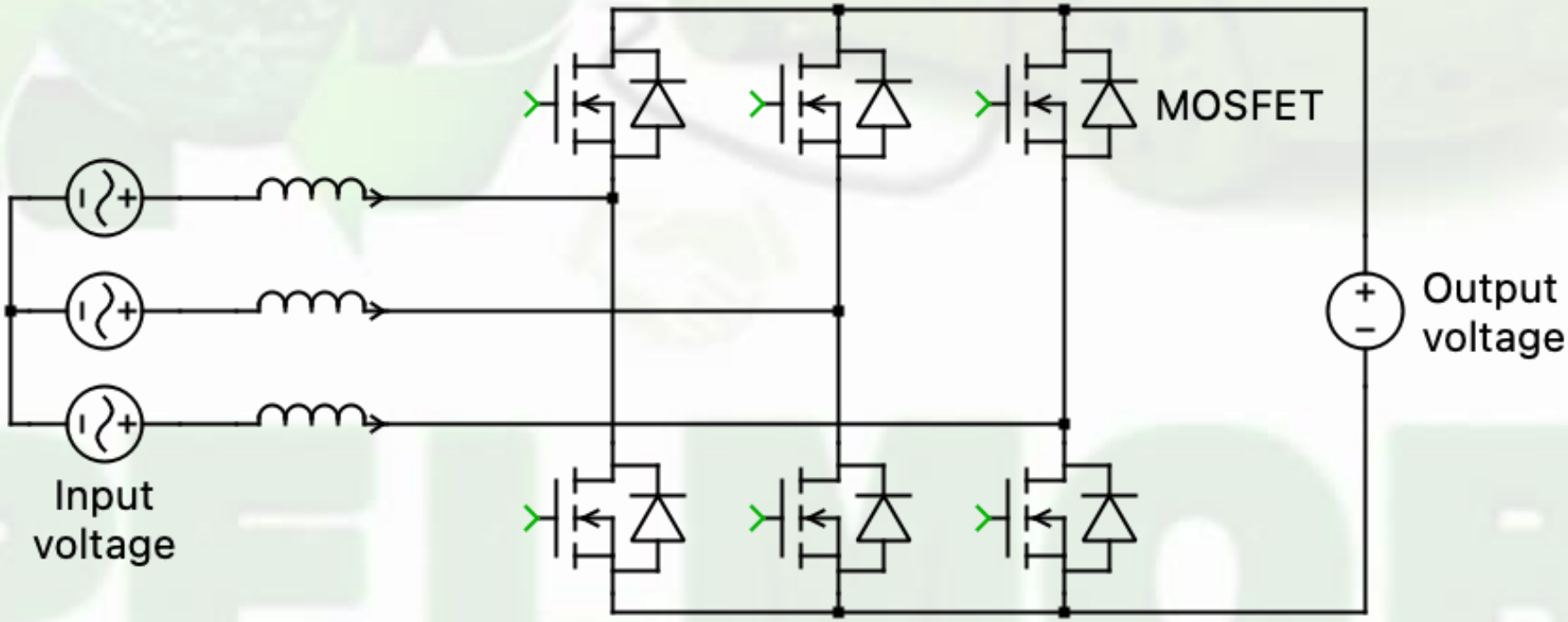
FACULTY OF
TECHNICAL SCIENCES
KOSOVSKA MITROVICA

# Двострани енергетски претварачи за електрична возила – V2G (Vehicle-to-Grid) технологија

## Топологије двостраних претварача за пуњаче батерија уграђених у возилу (OBC)

## Three Phase 2-Level Active Front End (AFE)

## Трофазни двонивојски активни исправљач (AFE)



PELMOB

University of Pristina Kosovska Mitrovica

# Двострани енергетски претварачи за електрична возила – V2G (Vehicle-to-Grid) технологија

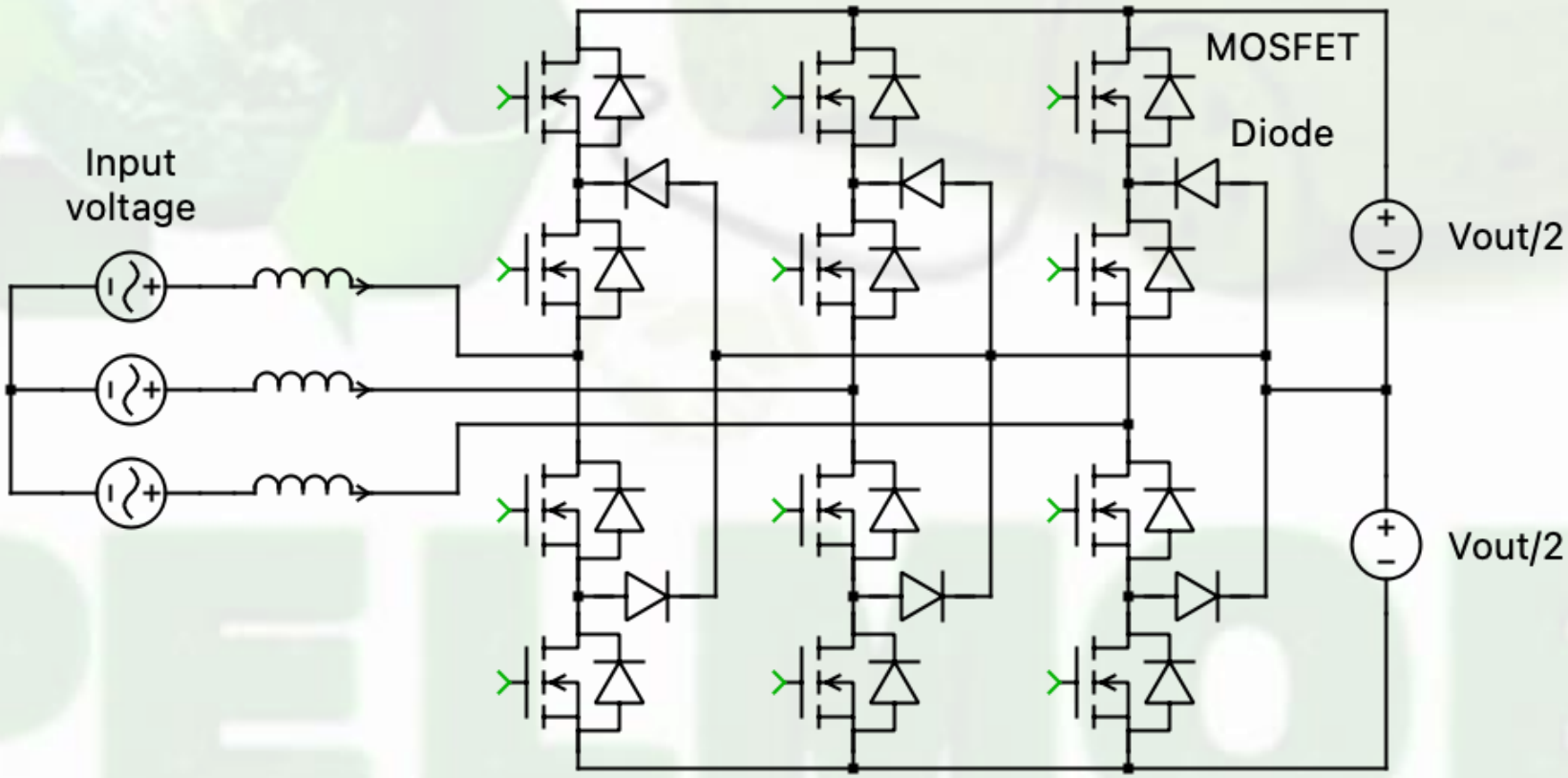
Funded by the European Union

FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES KOSOVSKA MITROVICA

## Топологије двостраних претварача за пуњаче батерија уграђених у возилу (OBC)

### Three Phase 3-Level Neutral-Point Clamped (NPC) Active Front End (AFE)

### Трофазни тронивојски активни исправљач (AFE) са неутралном тачком (NPC)



PELMOB

University of Pristina
Kosovska Mitrovica

Funded by the European Union

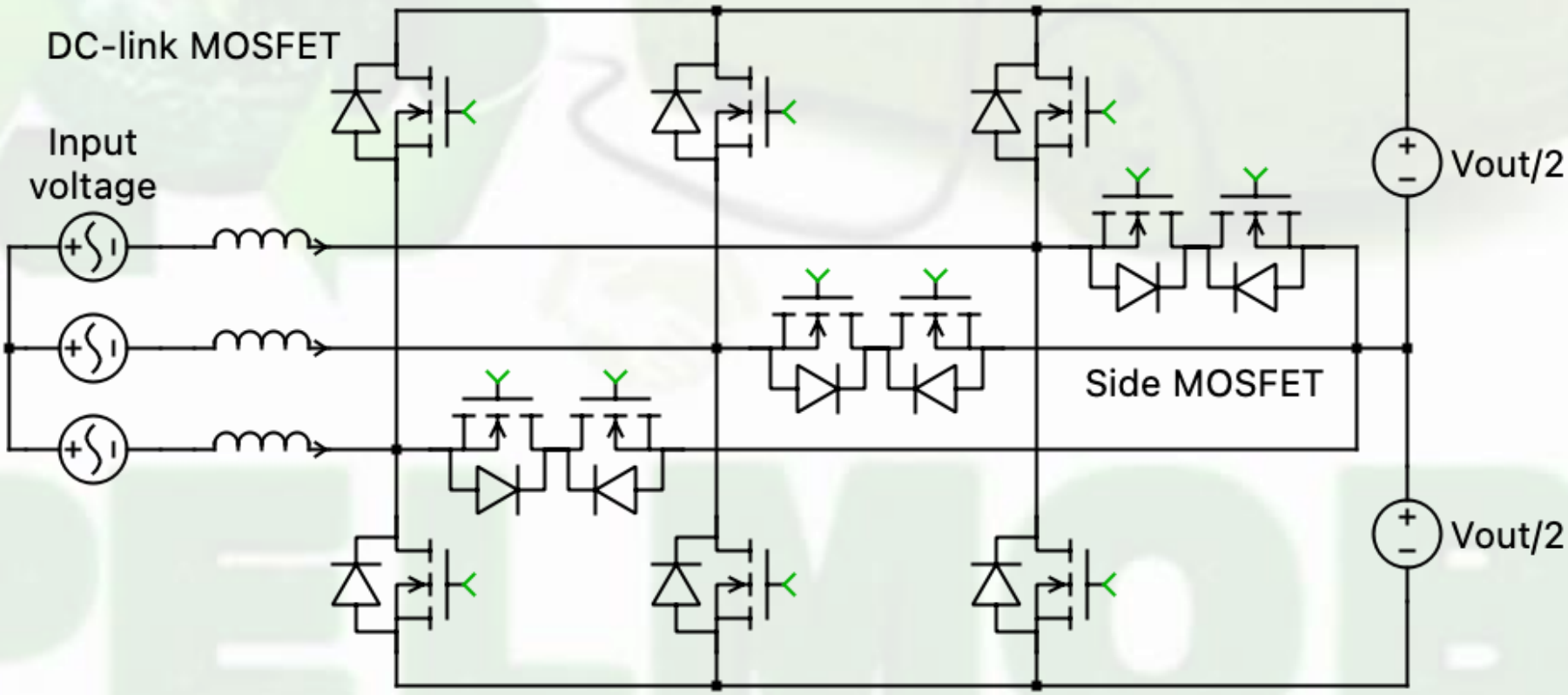
FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES
KOSOVSKA MITROVICA

# Двострани енергетски претварачи за електрична возила – V2G (Vehicle-to-Grid) технологија

## Топологије двостраних претварача за пуњаче батерија уграђених у возилу (OBC)

## Three Phase 3-Level T-Type Active Front End (AFE)

## Трофазни тронивојски активни исправљач (AFE) Т-типа



# Двострани енергетски претварачи за електрична возила – V2G (Vehicle-to-Grid) технологија

PELMOB

University of Pristina Kosovska Mitrovica

Funded by the European Union

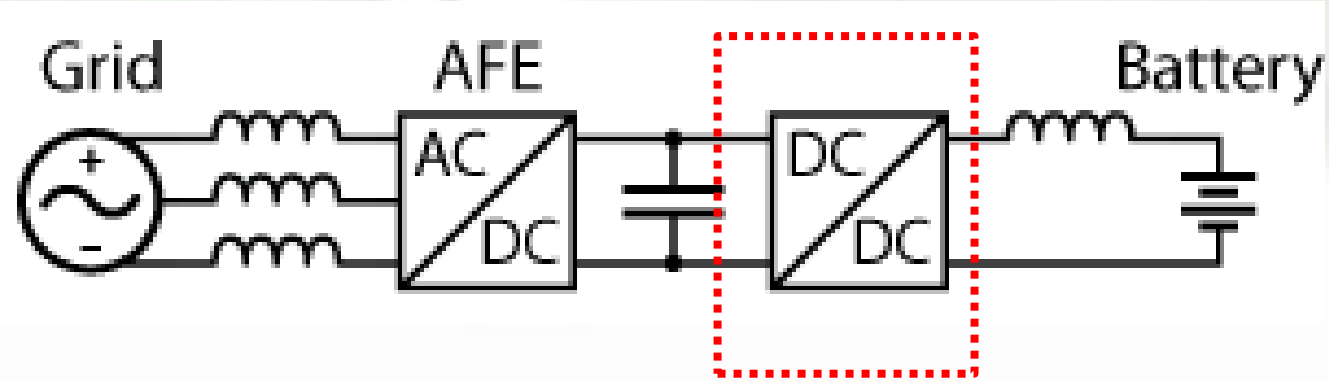
FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES KOSOVSKA MITROVICA

## Упоредне к-ке: трофазни двонивојски, трофазни тронивојски NPC и трофазни тронивојски T –типа, двострани (активни ) исправљачи

| Карактеристика | 3-Phase 2-Level AFE | 3-Phase 3-Level NPC AFE | 3-Phase 3-Level T-Type AFE |
|---|---|---|---|
| Број нивоа напона | 2 | 3 | 3 |
| Број прекидача по мосту | 6 IGBT | 12 IGBT | 12 IGBT (специфична конфигурација) |
| Напонски стрес компоненти | Висок (Vdc) | Средњи (Vdc/2) | Средњи (Vdc/2) |
| Диодни климпер | Не | Да (NPC диоде) | Не |
| Ефикасност | Висока (~98%) | Средња (~96-97%) | Висока (~97-98%) |
| THD | Висок (5-8%) | Средњи (3-5%) | Низак (2-4%) |
| Динамика одзива | Добра | Одлична | Одлична |
| Губици прекидања | Високи | Средњи | Нижи |
| Губици провођења | Ниски | Високи | Средњи |
| Цена | Најнижа | Средња | Највиша |
| Примена | Општа индустрија | Ветрогенератори, возови | Висококвалитетни погони |
| Сложеност управљања | Једноставна | Средња | Сложена |

# Двострани енергетски претварачи за електрична возила – V2G (Vehicle-to-Grid) технологија

## Топологије двостраних претварача за пуњаче батерија уграђених у возилу (OBC)




**Управљиви DC – DC претварачи**

**Active Front End – (AFE) - Активни исправљач**

PELMOB

University of Pristina
Kosovska Mitrovica

# Двострани енергетски претварачи за електрична возила – V2G (Vehicle-to-Grid) технологија

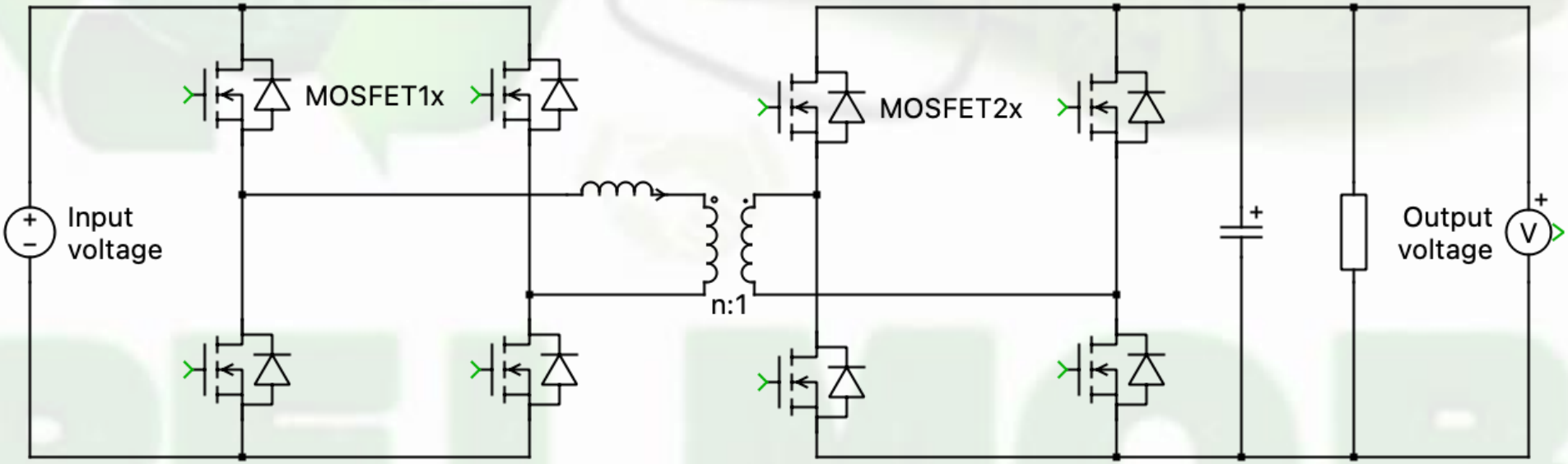
Funded by the European Union

FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES
KOSOVSKA MITROVICA

## Топологије двостраних претварача за пуњаче батерија уграђених у возилу (OBC)

## Управљиви DC – DC претварачи

## Двоструки активни мостни претварач



PELMOB

University of Pristina
Kosovska Mitrovica

# Двострани енергетски претварачи за електрична возила – V2G (Vehicle-to-Grid) технологија

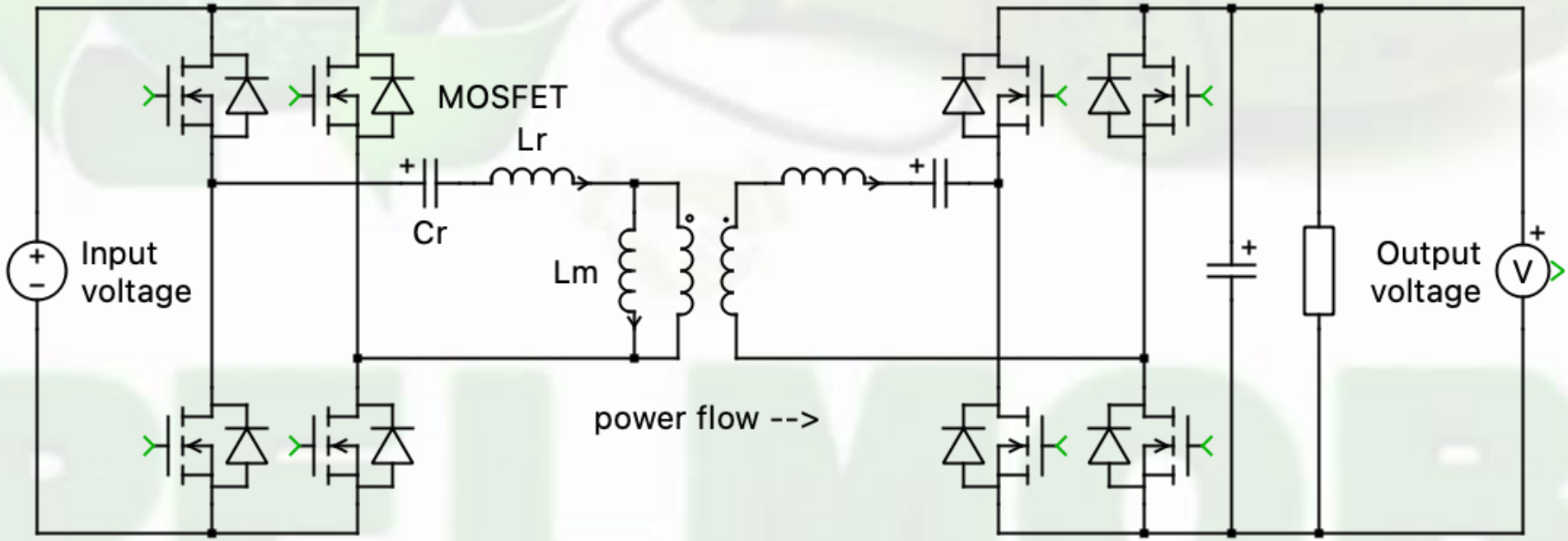
Funded by the European Union

FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES
KOSOVSKA MITROVICA

## Топологије двостраних претварача за пуњаче батерија уграђених у возилу (OBC)

## Управљиви DC – DC претварачи

## Резонантни CLLC претварач (режим пуњења)



PELMOB

University of Pristina
Kosovska Mitrovica

# Двострани енергетски претварачи за електрична возила – V2G (Vehicle-to-Grid) технологија

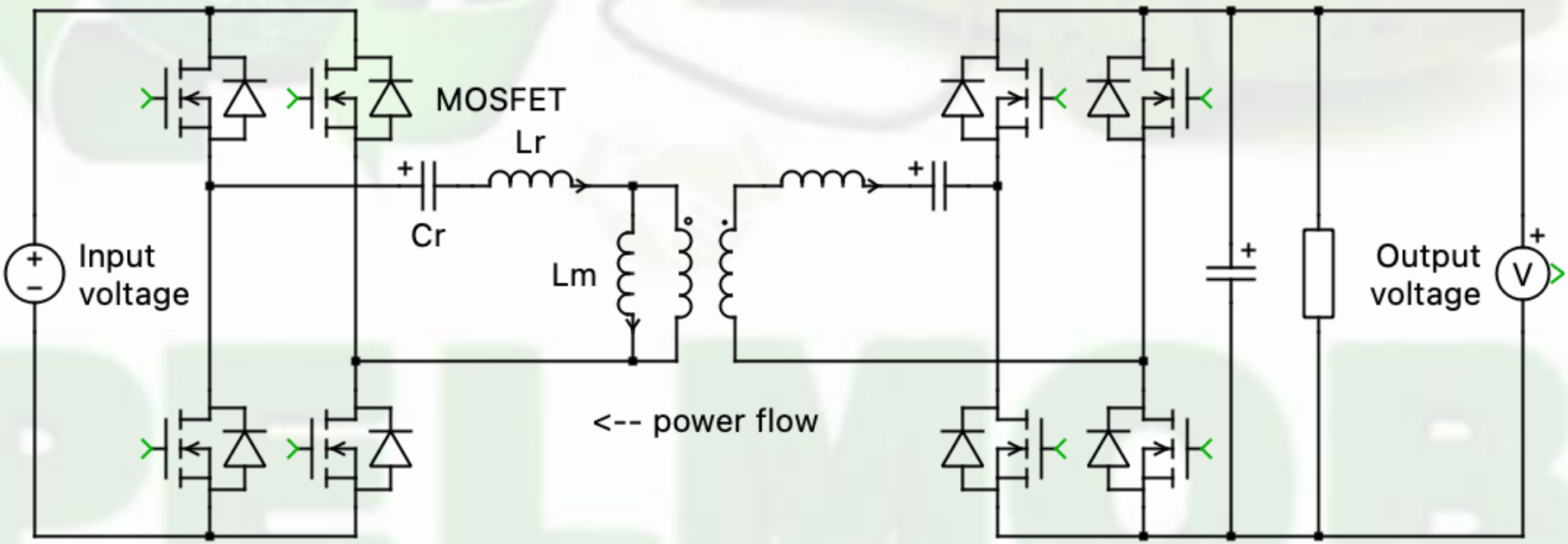
Funded by the European Union

FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES
KOSOVSKA MITROVICA

## Топологије двостраних претварача за пуњаче батерија уграђених у возилу (OBC)

## Управљиви DC – DC претварачи

## Резонантни CLLC претварач (режим пражњења)



PELMOB

University of Pristina Kosovska Mitrovica

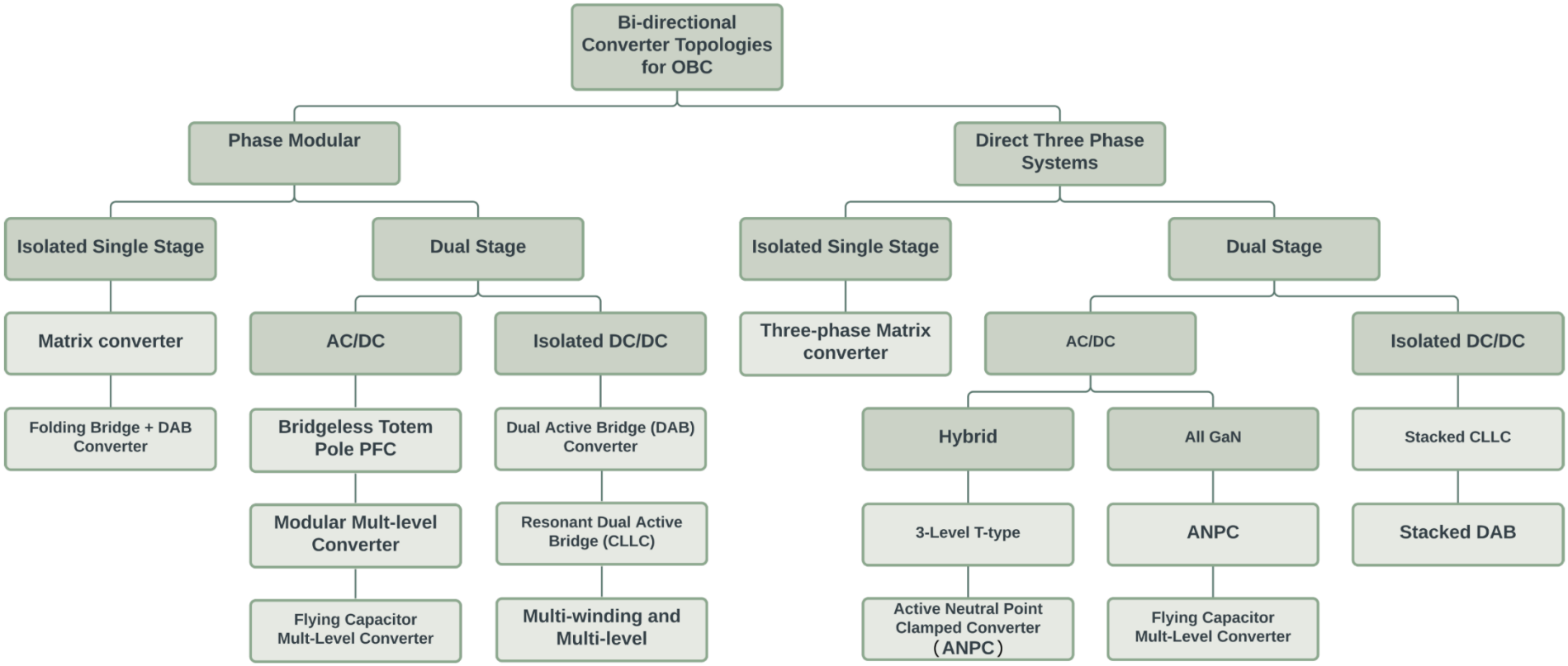
# Двострани енергетски претварачи за електрична возила – V2G (Vehicle-to-Grid) технологија

Funded by the European Union

FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES KOSOVSKA MITROVICA

## Класификација топологија двостраних претварача за пуњаче батерија уграђених у возилу (OBC)

### On-Board Battery Chargers - OBC



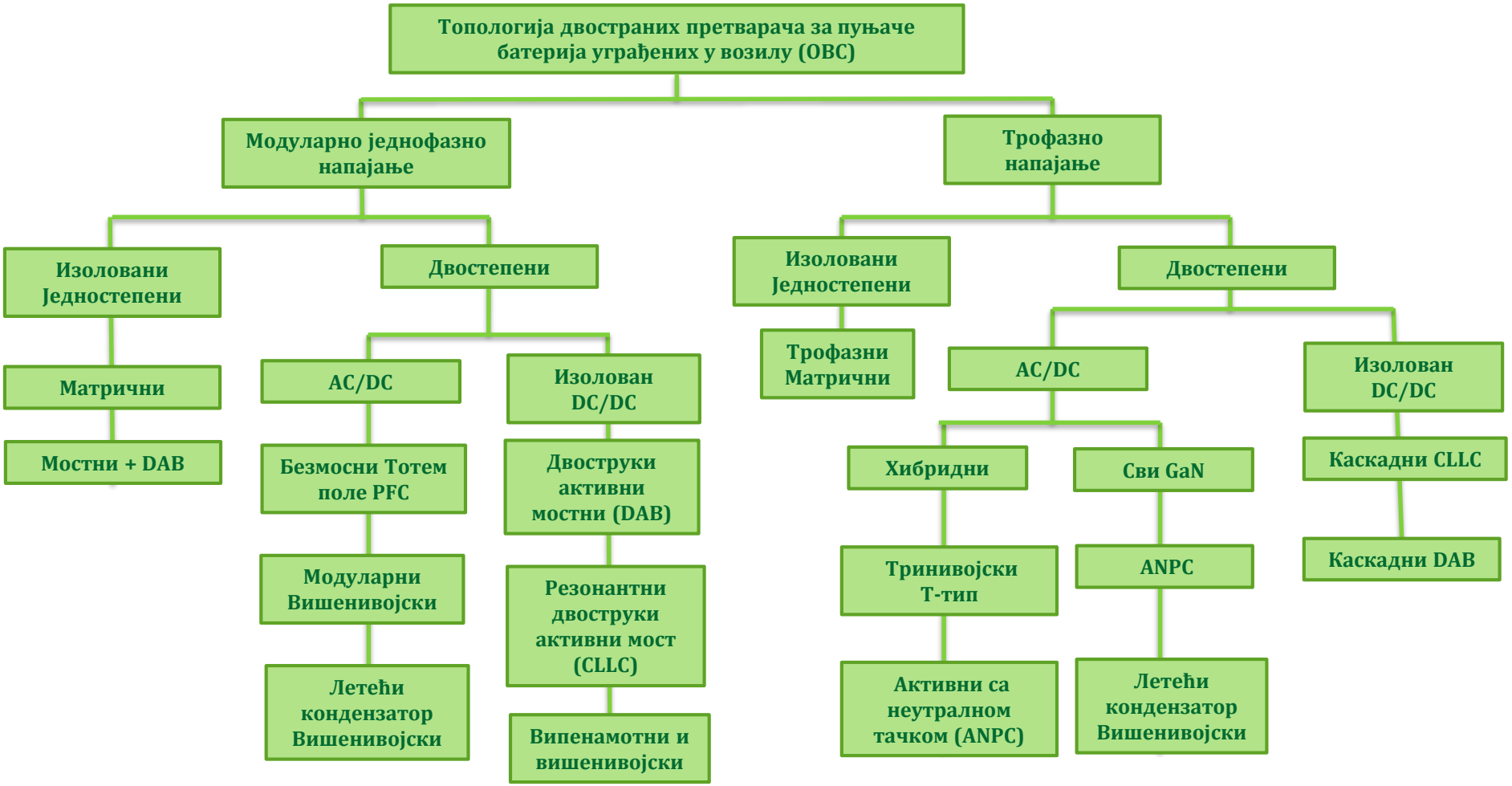
PELMOB

University of Pristina
Kosovska Mitrovica

# Класификација топологија двостраних претварача за пуњаче батерија уграђених у возилу (OBC)

Funded by the European Union

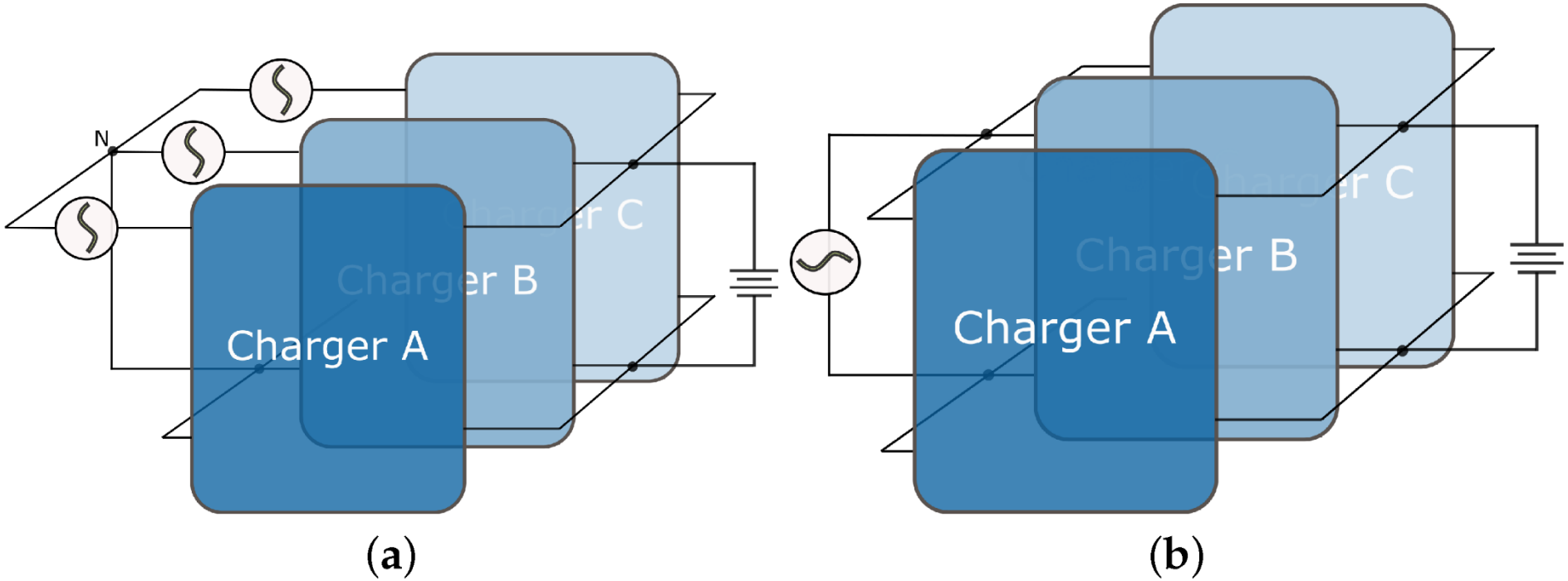
FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES
KOSOVSKA MITROVICA



# Двострани енергетски претварачи за електрична возила – V2G (Vehicle-to-Grid) технологија

Funded by the European Union
FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES
KOSOVSKA MITROVICA

## Модуларна фазна архитектура пуњача




(a) Трофазна

(b) Једнофазна примена

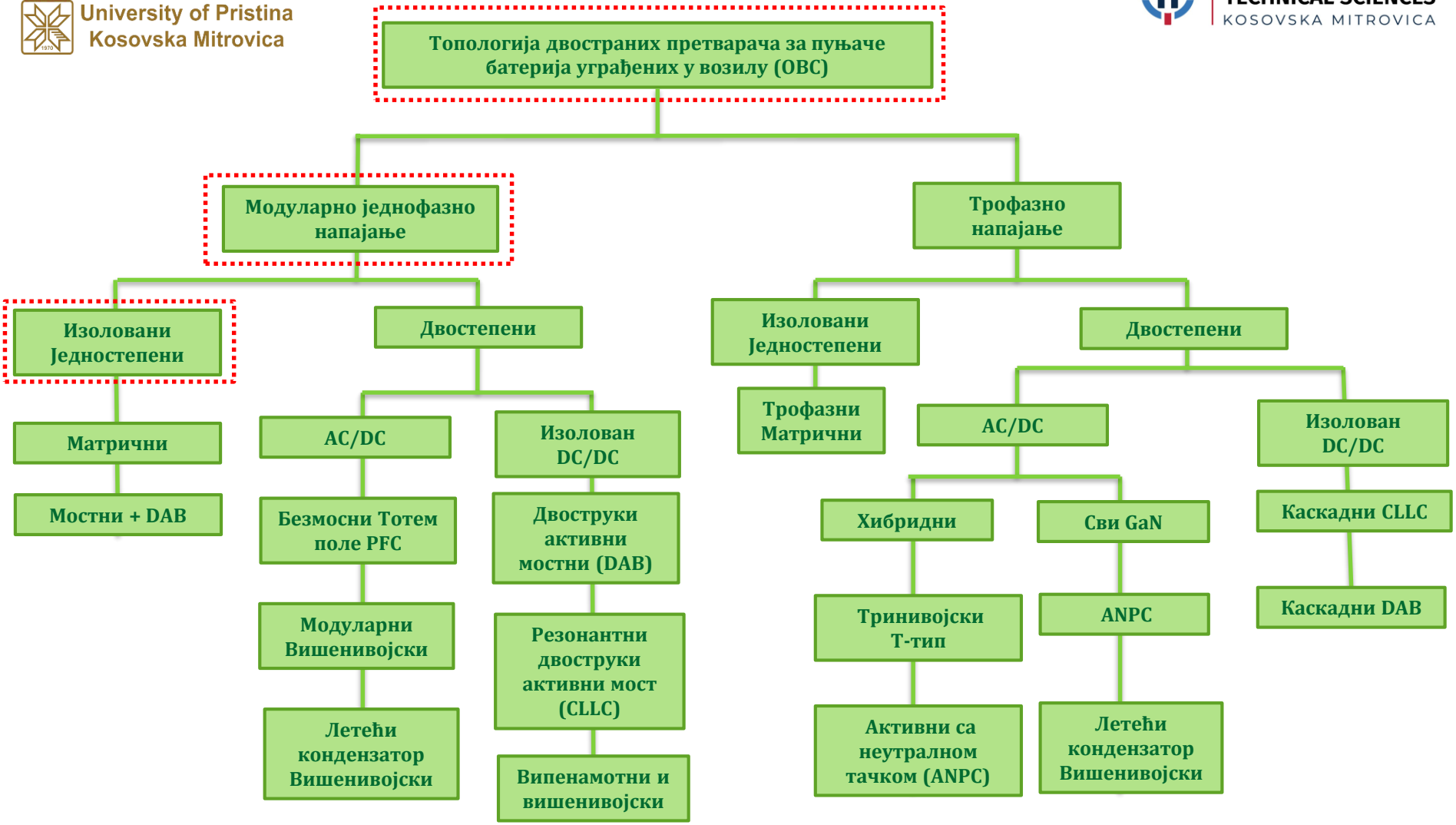
# Класификација топологија двостраних претварача за пуњаче батерија уграђених у возилу (OBC)

PELMOB

University of Pristina Kosovska Mitrovica

Funded by the European Union

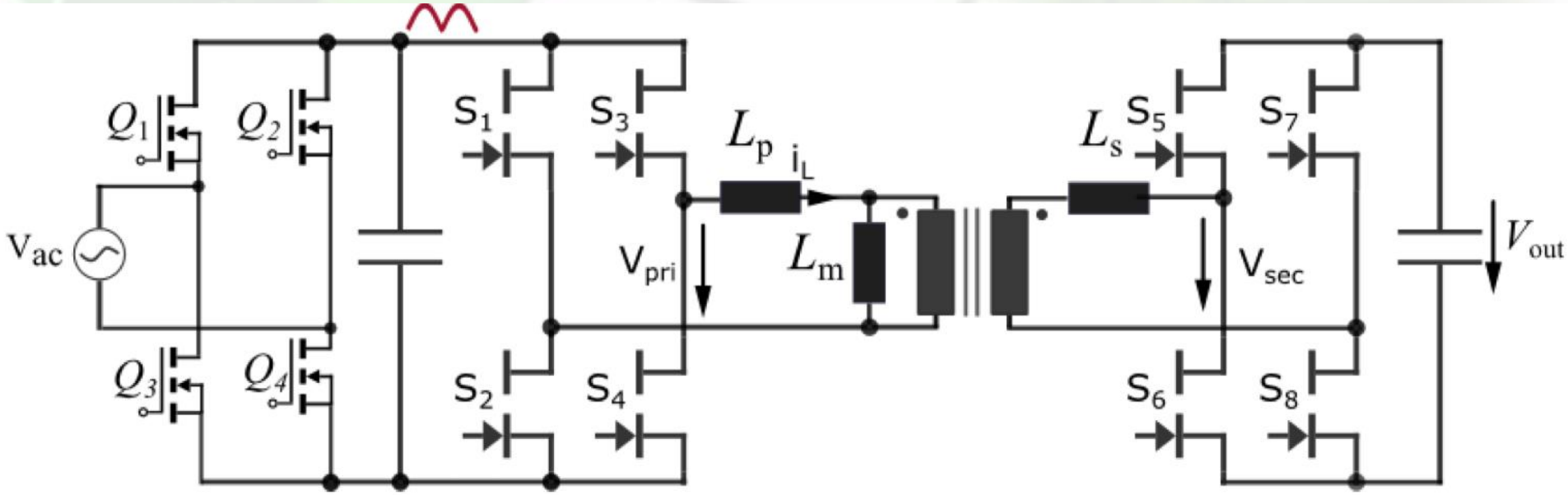
FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES KOSOVSKA MITROVICA



# Двострани енергетски претварачи за електрична возила – V2G (Vehicle-to-Grid) технологија

Funded by the European Union
FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES
KOSOVSKA MITROVICA

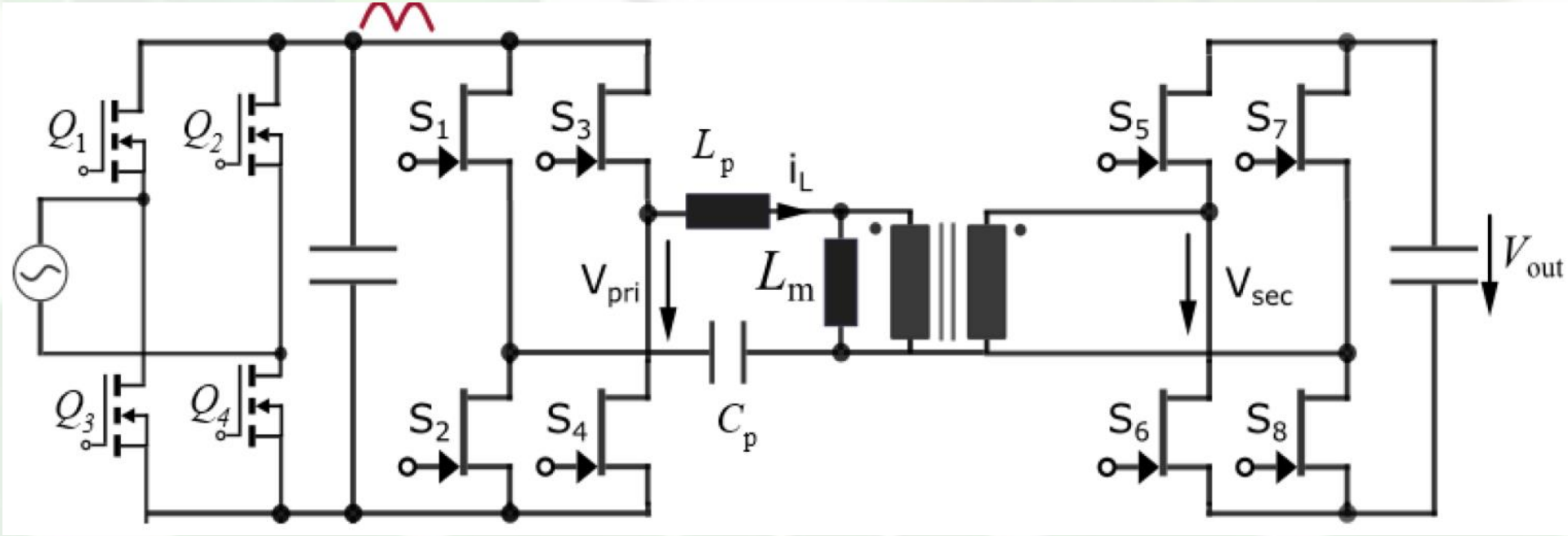
## Једнофазни једностепени AC/DC претварач- двоструки активни мост (DAB)



# Двострани енергетски претварачи за електрична возила – V2G (Vehicle-to-Grid) технологија

Funded by the European Union
FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES
KOSOVSKA MITROVICA

## Једнофазни једностепени редни резонантни AC/DC претварач - двоструки активни мост (DAB)



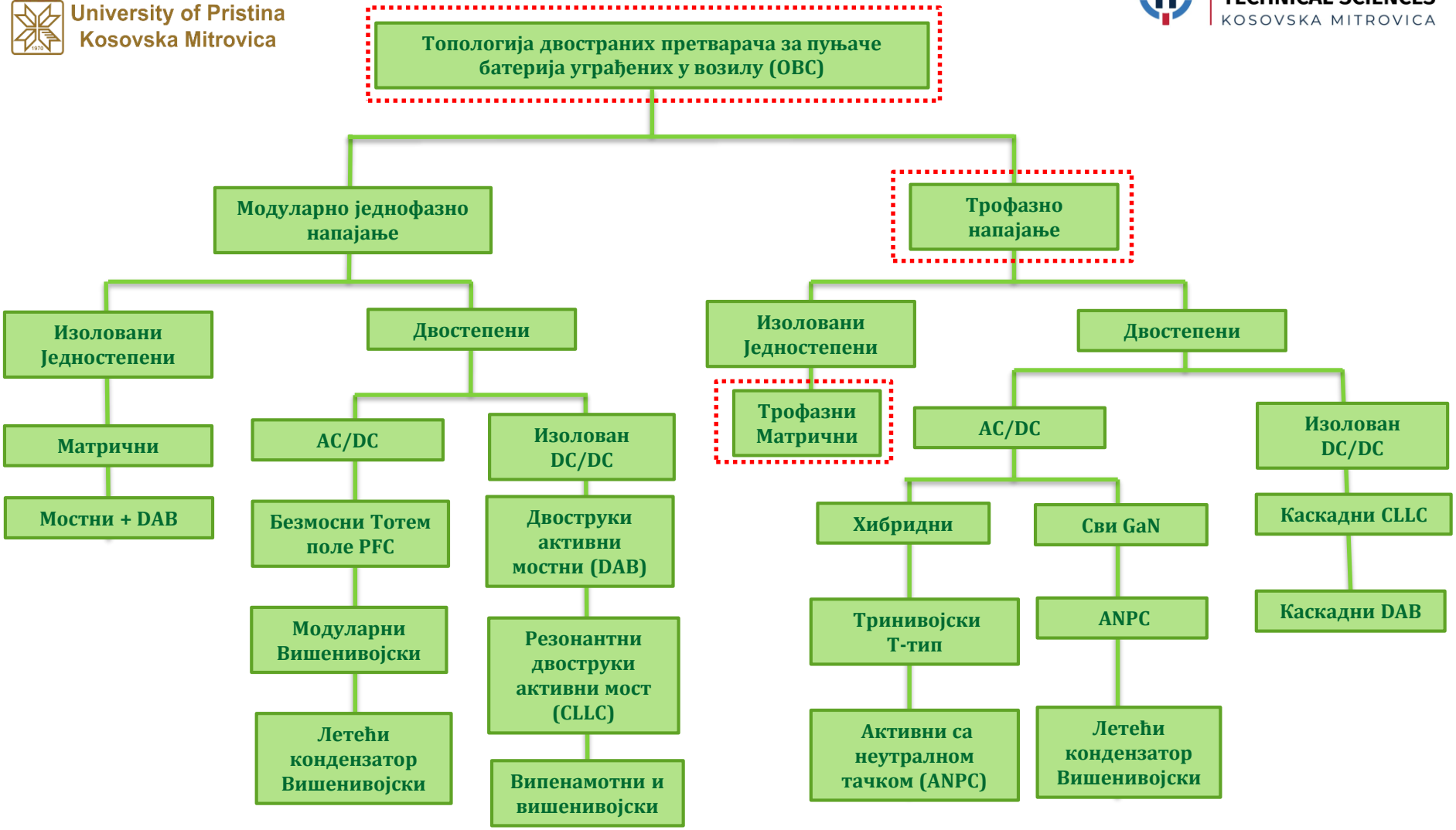
# Класификација топологија двостраних претварача за пуњаче батерија уграђених у возилу (OBC)

PELMOB

University of Pristina Kosovska Mitrovica

Funded by the European Union

FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES KOSOVSKA MITROVICA



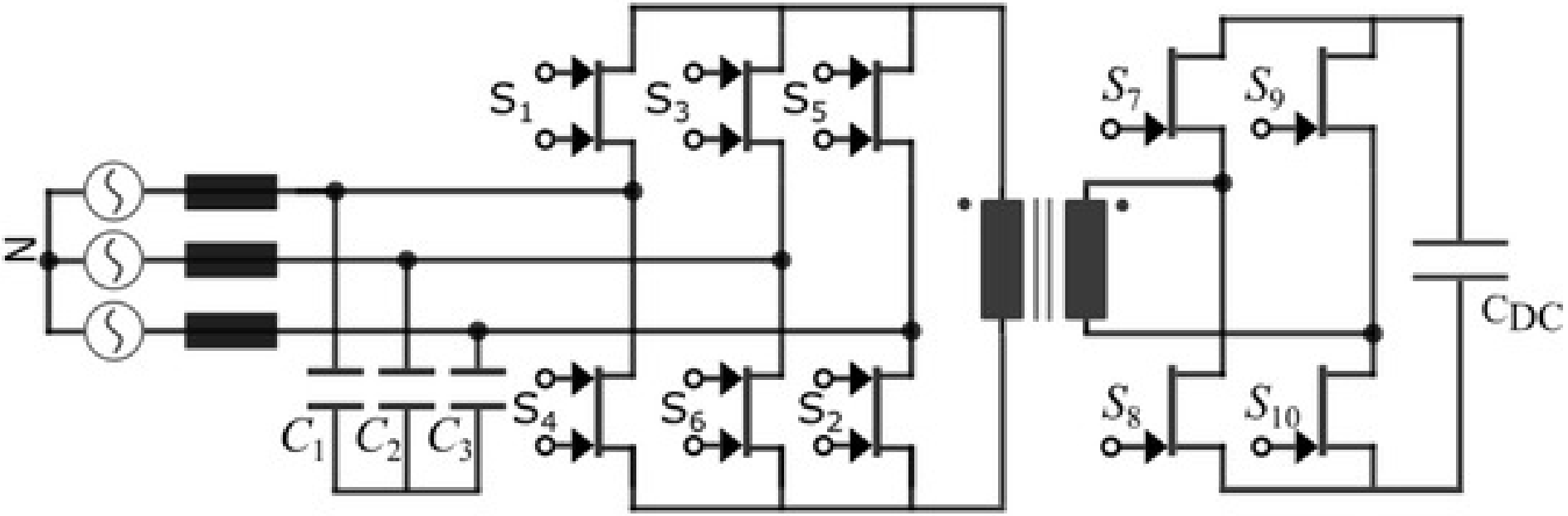
# Двострани енергетски претварачи за електрична возила – V2G (Vehicle-to-Grid) технологија

Funded by the European Union



## Једностепени трофазни AC/DC претварач

## Трофазни двострани матрични AC/DC претварач



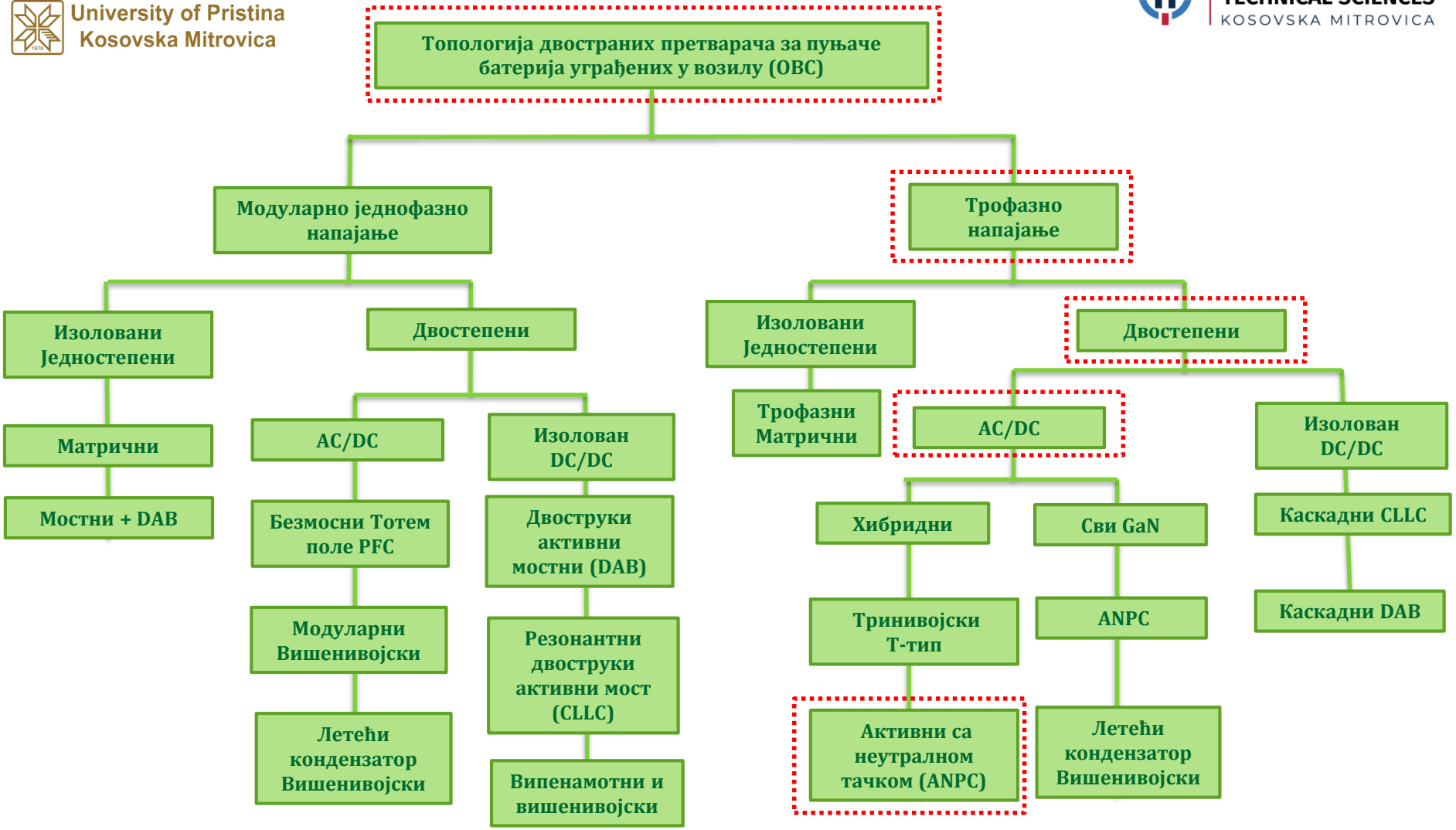
# Класификација топологија двостраних претварача за пуњаче батерија уграђених у возилу (OBC)

PELMOB

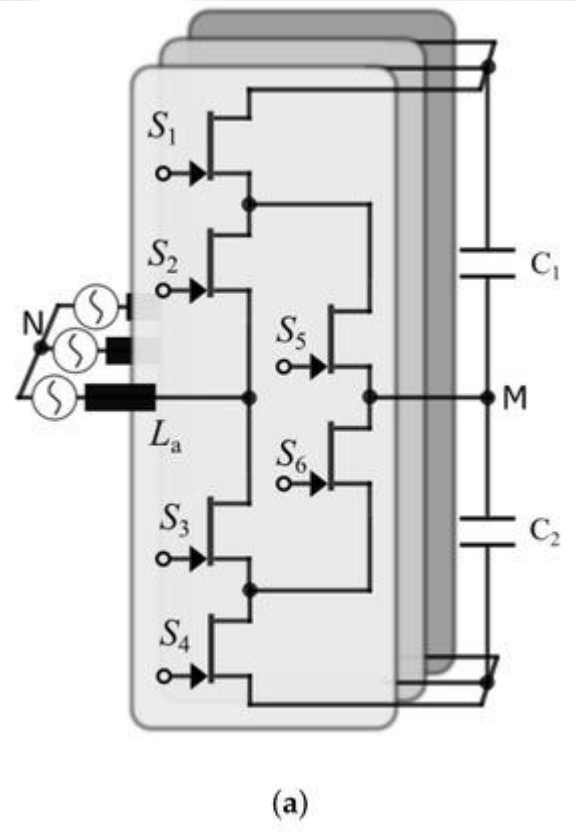
University of Pristina Kosovska Mitrovica

Funded by the European Union

FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES KOSOVSKA MITROVICA



## Трофазни активни претварач за двостепене ОВС апликације

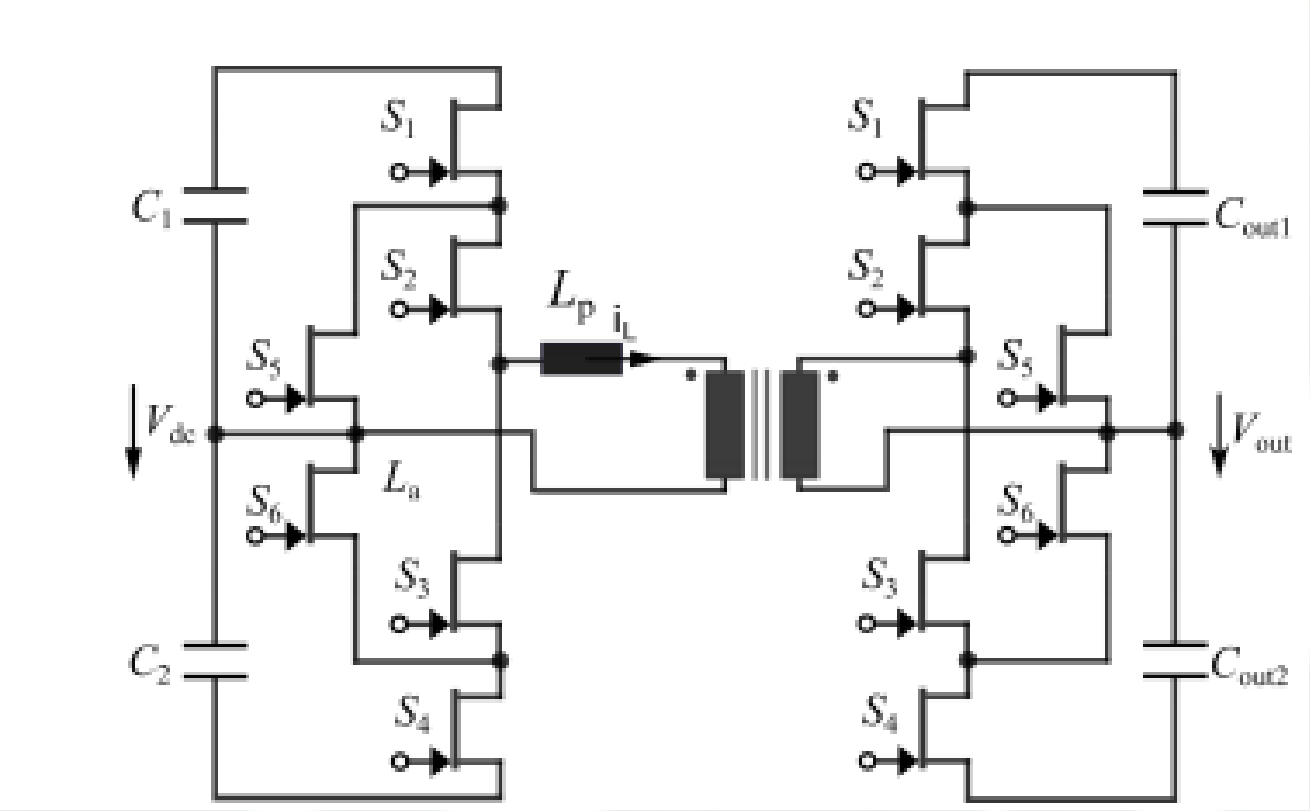



**(a) Трофазни тронивојски активни претварач са неутралном тачком ANPC**

# Двострани енергетски претварачи за електрична возила – V2G (Vehicle-to-Grid) технологија

Funded by the European Union
FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES
KOSOVSKA MITROVICA

## Тронивосјки ANPC двоструки активни полумосни претварач



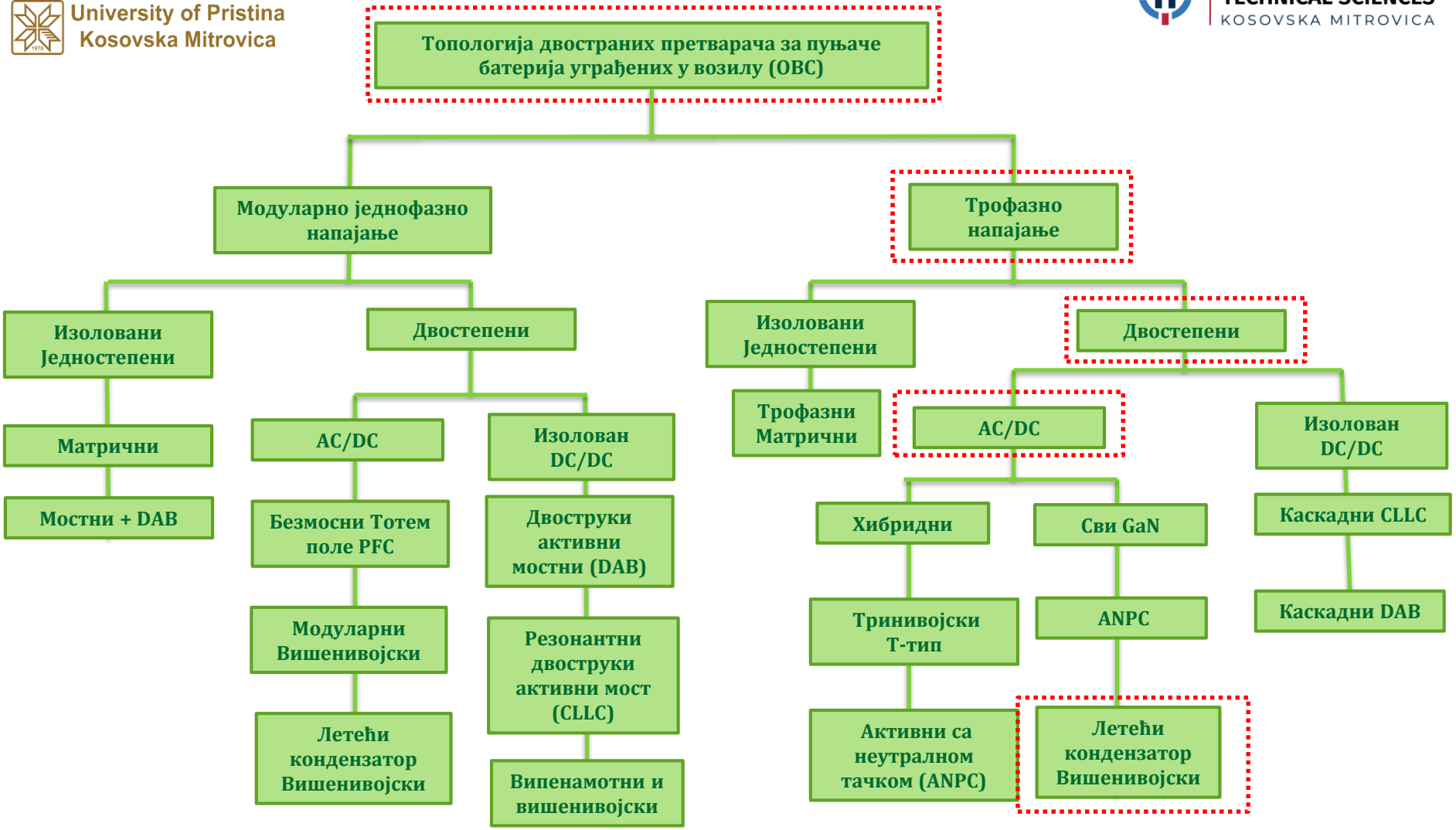
# Класификација топологија двостраних претварача за пуњаче батерија уграђених у возилу (OBC)

PELMOB

University of Pristina Kosovska Mitrovica

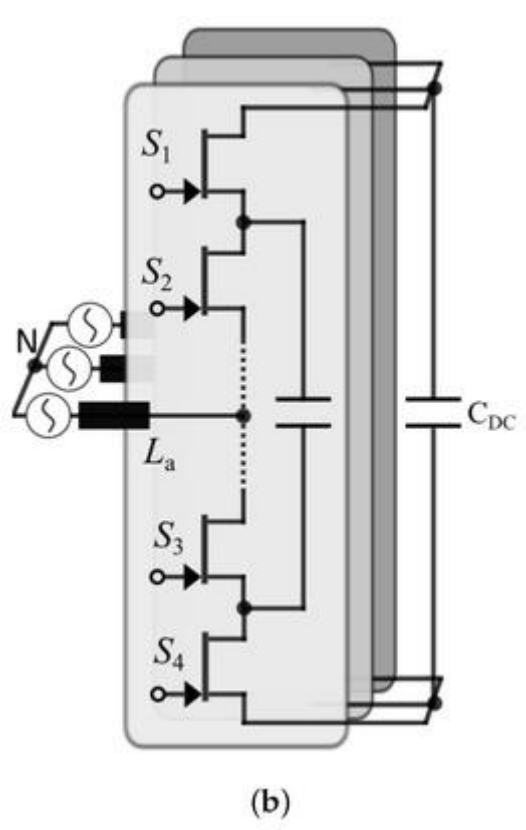
Funded by the European Union

FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES KOSOVSKA MITROVICA



# Двострани енергетски претварачи за електрична возила – V2G (Vehicle-to-Grid) технологија

## Трофазни активни претварач за апликације са двостепеним пуњачима батерија уграђеним у возило




**(b) Трофазни вишенивојски претварач са летећим кондензатором (FCML)**

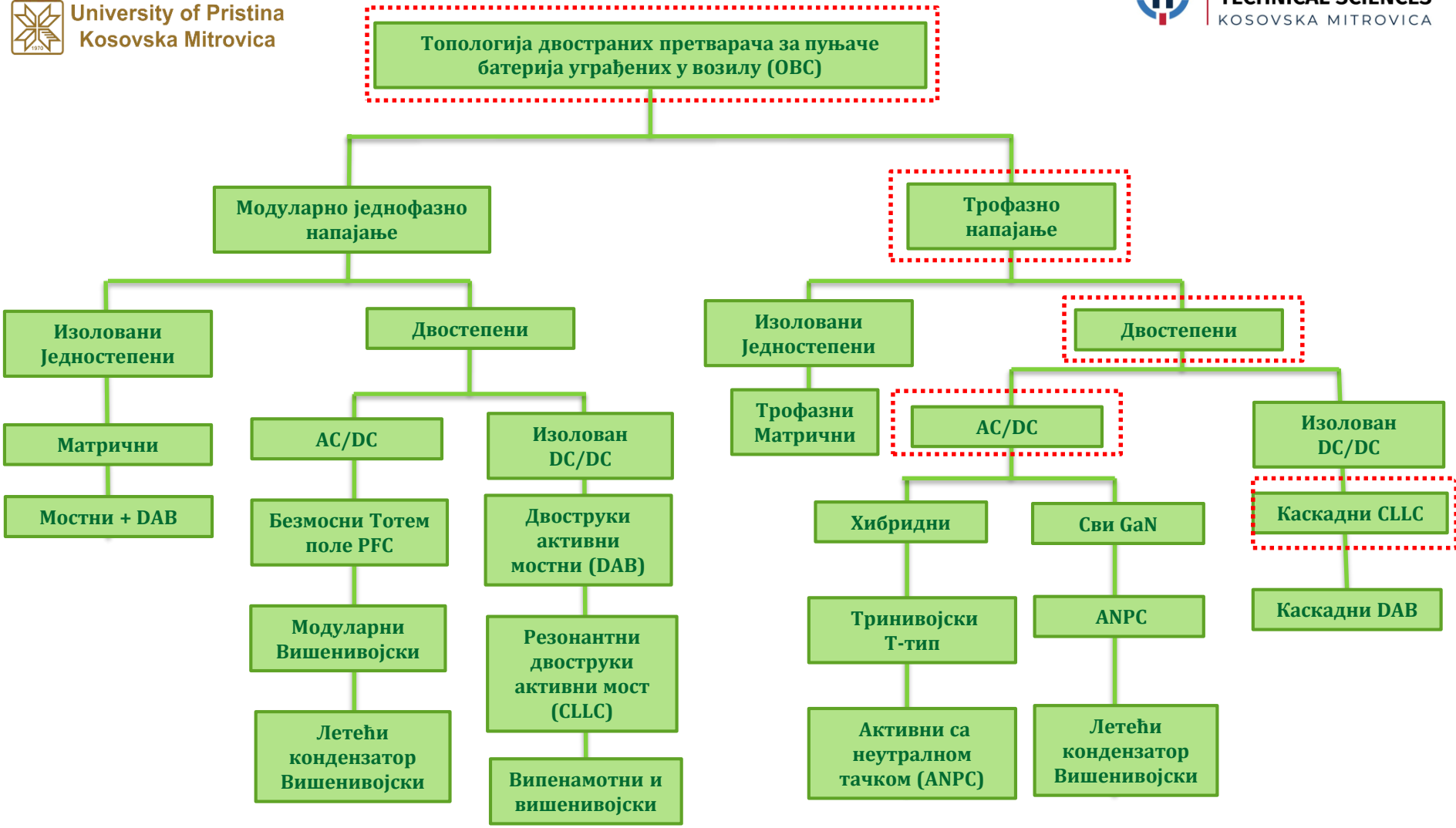
# Класификација топологија двостраних претварача за пуњаче батерија уграђених у возилу (OBC)

PELMOB

University of Pristina Kosovska Mitrovica

Funded by the European Union

FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES KOSOVSKA MITROVICA

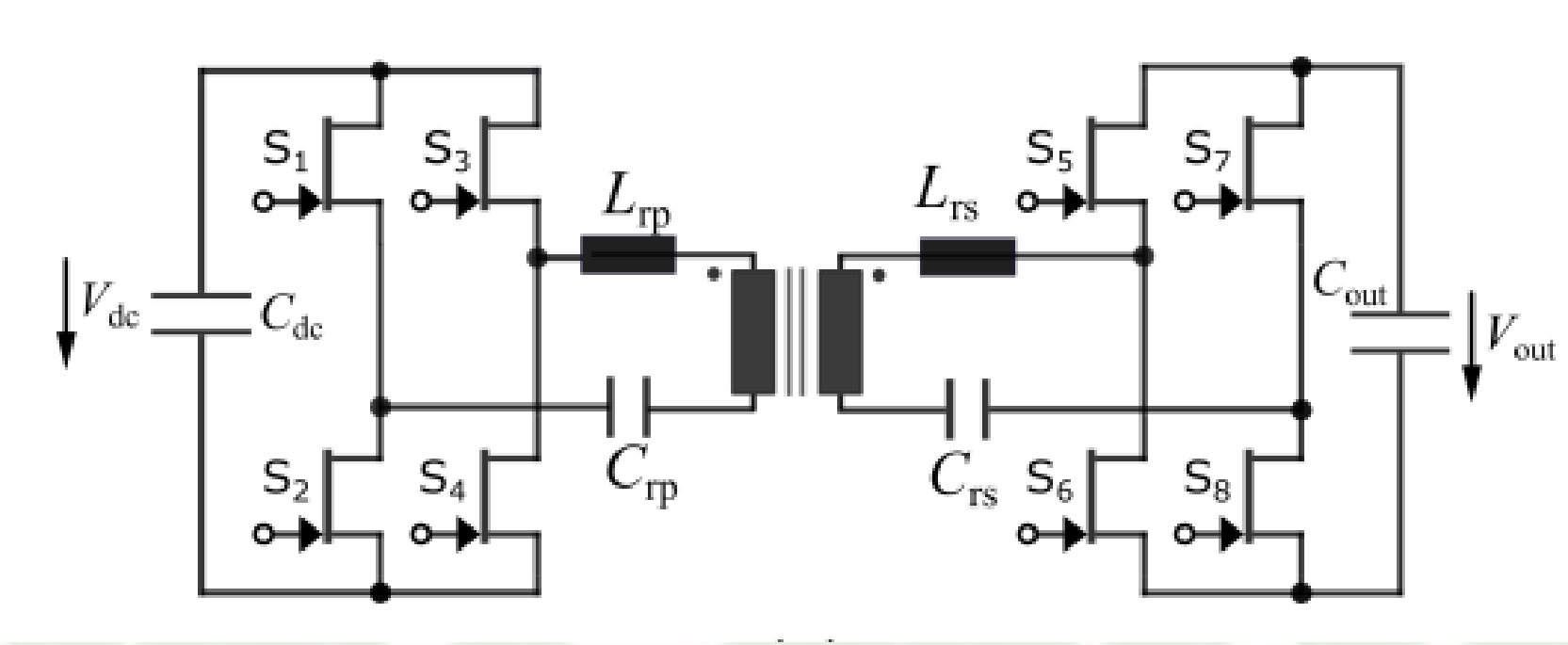


# Двострани енергетски претварачи за електрична возила – V2G (Vehicle-to-Grid) технологија

Funded by the European Union



## Мостни резонантни CLLC DC-DC претварач

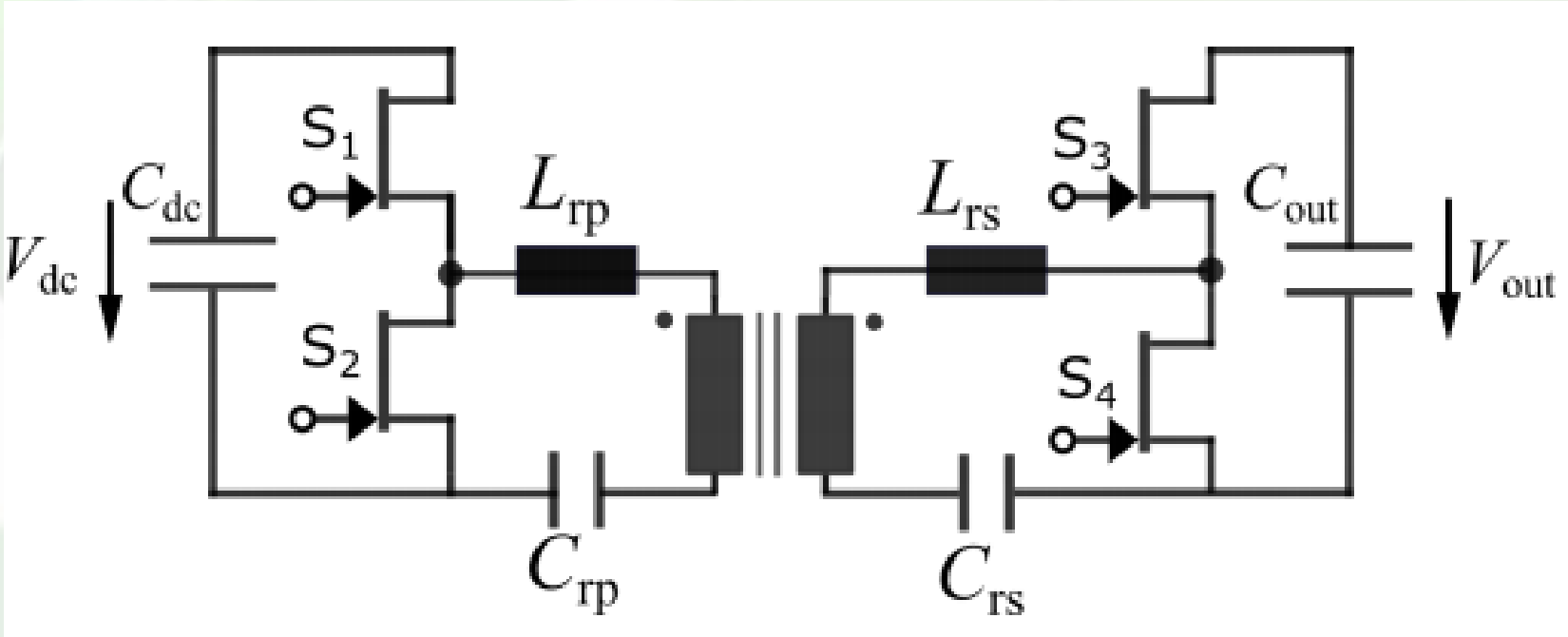


# Двострани енергетски претварачи за електрична возила – V2G (Vehicle-to-Grid) технологија

Funded by the European Union



## Полумостни резонантни CLLC DC-DC претварач



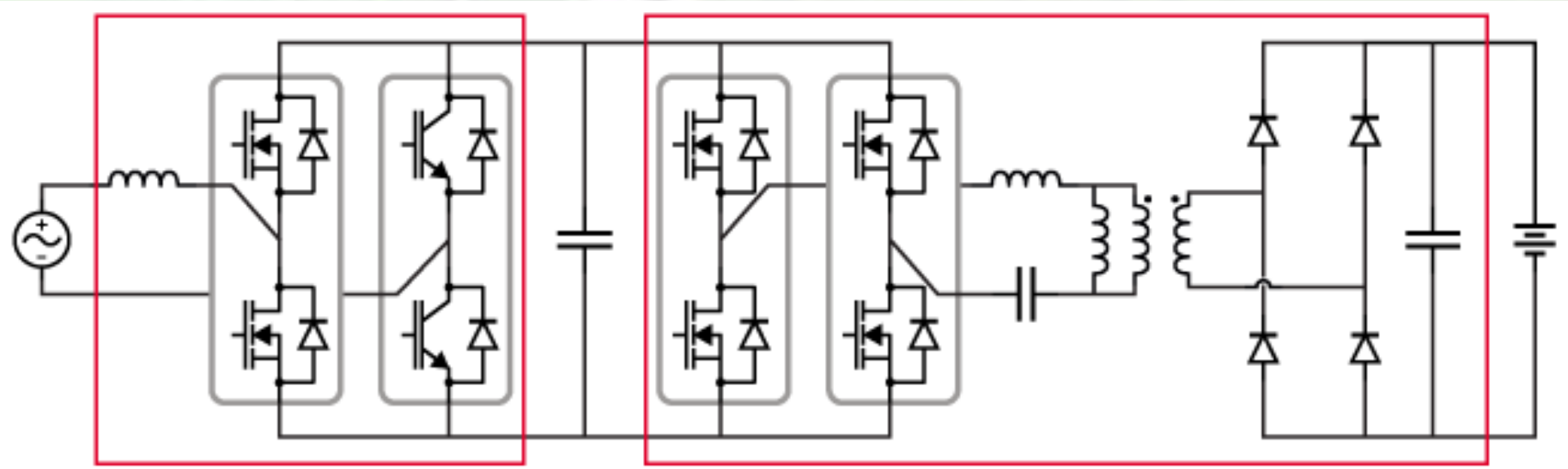
# Двострани енергетски претварачи за електрична возила – V2G (Vehicle-to-Grid) технологија

Funded by the European Union
FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES
KOSOVSKA MITROVICA

## Двостепени пуњач уграђен у возило - једнострани

Први степен

Други степен



Тотем-пол исправљач PFC

Изоловани DC/DC претварач

# Двострани енергетски претварачи за електрична возила – V2G (Vehicle-to-Grid) технологија

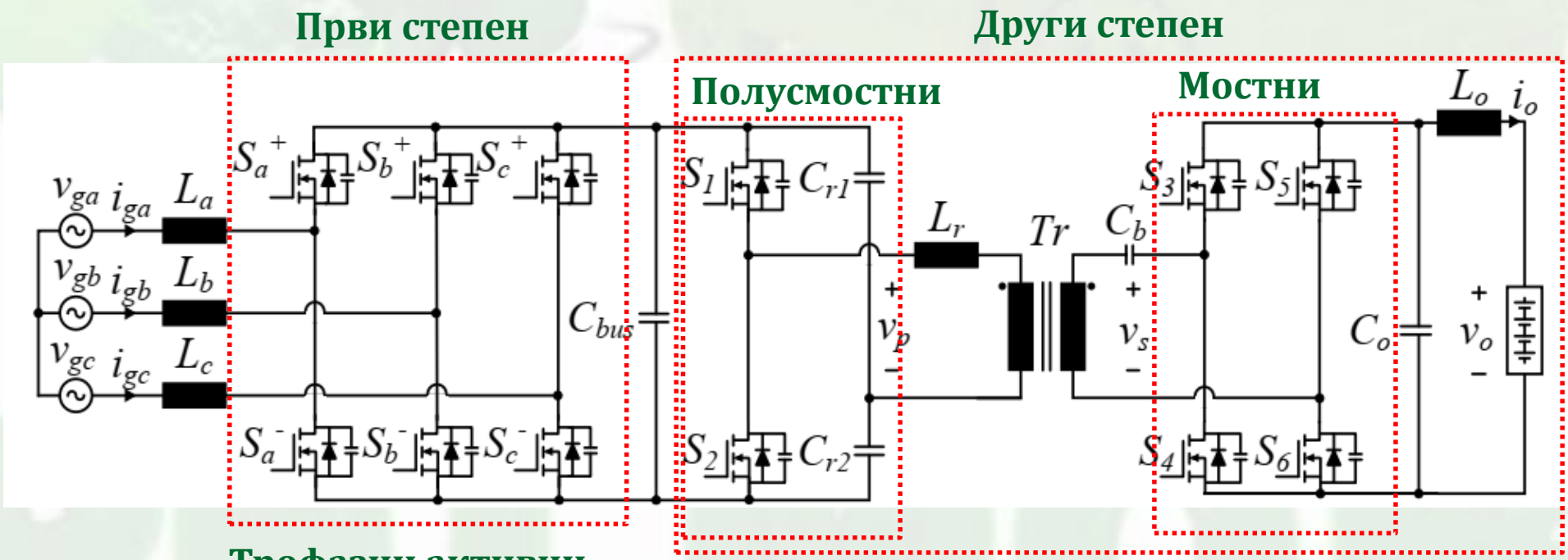
PELMOB

University of Pristina Kosovska Mitrovica

Funded by the European Union

FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES KOSOVSKA MITROVICA

## Двостепени пуњач уграђен у возило




Трофазни активни исправљач PFC

Изоловани LLC резонантни DC/DC претварач

# Двострани енергетски претварачи за електрична возила – V2G (Vehicle-to-Grid) технологија

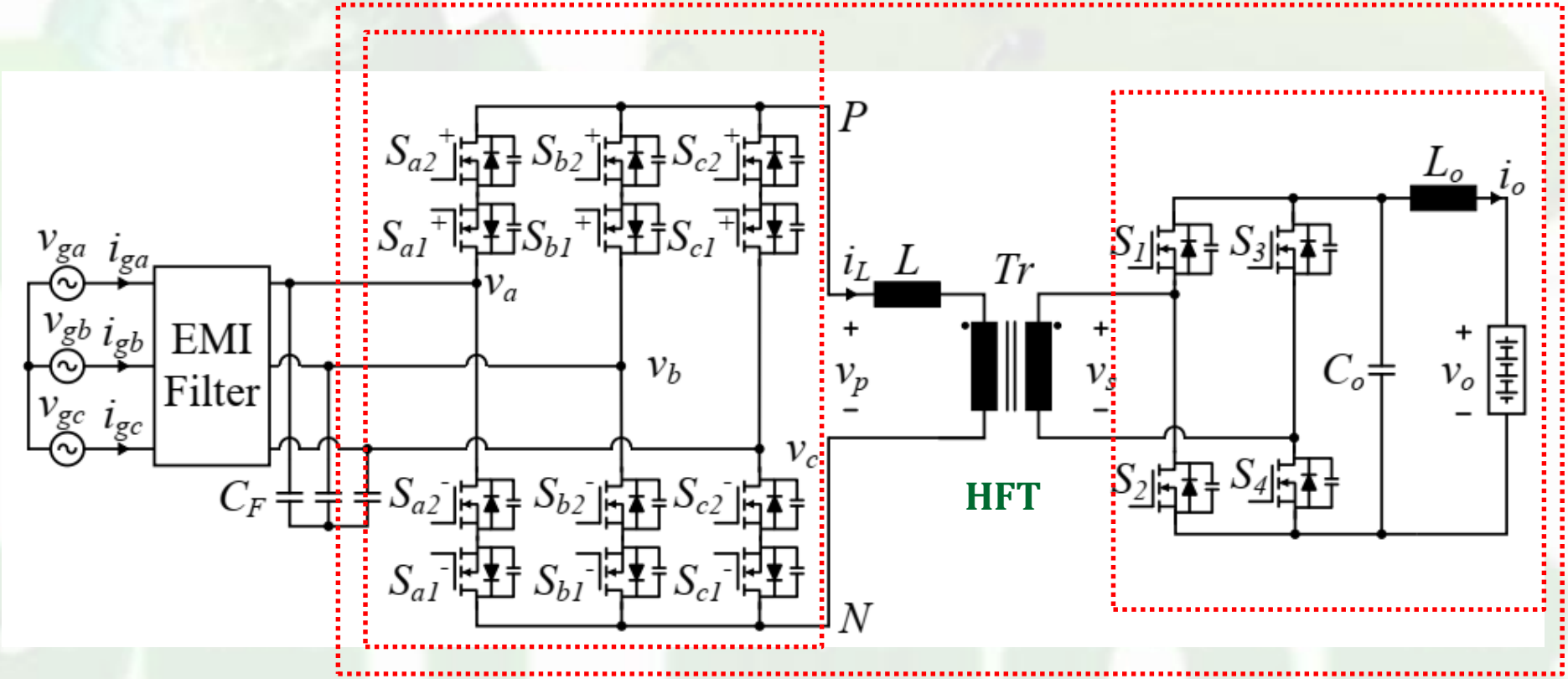
PELMOB

University of Pristina Kosovska Mitrovica

Funded by the European Union

FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES KOSOVSKA MITROVICA

## Једностепени пуњач уграђен у возило




**Трофазни матрични AC-AC претварач са двоструким прекидачима (back-to-back)**

**Мостни активни претварач**

# Двострани енергетски претварачи за електрична возила – V2G (Vehicle-to-Grid) технологија

PELMOB

University of Pristina Kosovska Mitrovica

Funded by the European Union

FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES KOSOVSKA MITROVICA

## 25 kW двострани високоефикасан Т-тип инвертора високе густине снаге са

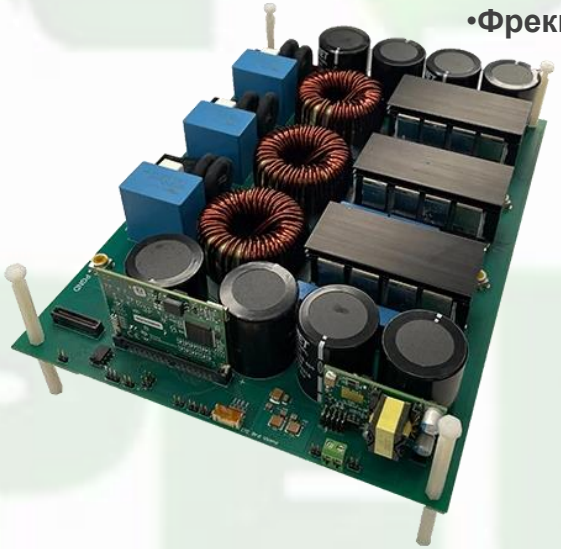
**AC/DC DC/AC Convertor**

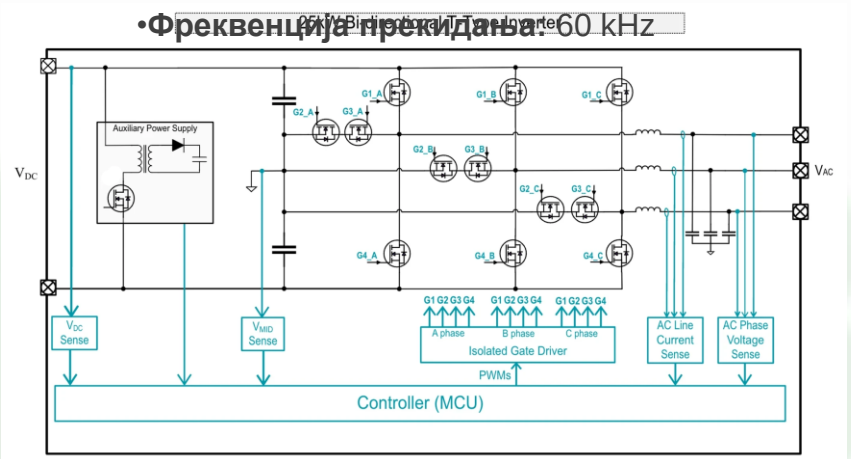
**Спецификације у режиму инвертора:**

- **Улазни једносмерни напон (DC):** 800 V DC
- **Максимална улазна струја:** 36 A
- **Излазни наизменични напон (AC):** 380–480 V (линијски), 50/60 Hz
- **Максимална излазна снага:** 25 kW
- **Фреквенција прекидања:** 60 kHz

**Спецификације у режиму PFC (корекције фактора снаге):**

- **Улазни наизменични напон (AC):** 380–480 V (линијски), 50/60 Hz
- **Максимална улазна струја:** 36 A
- **Излазни једносмерни напон (DC):** 650 V → 900 V
- **Максимална излазна снага:** 25 kW
- **Максимална струја:** 36 A
- **Фреквенција прекидања:** 60 kHz





# Двострани енергетски претварачи за електрична возила – V2G (Vehicle-to-Grid) технологија

PELMOB

University of Pristina Kosovska Mitrovica

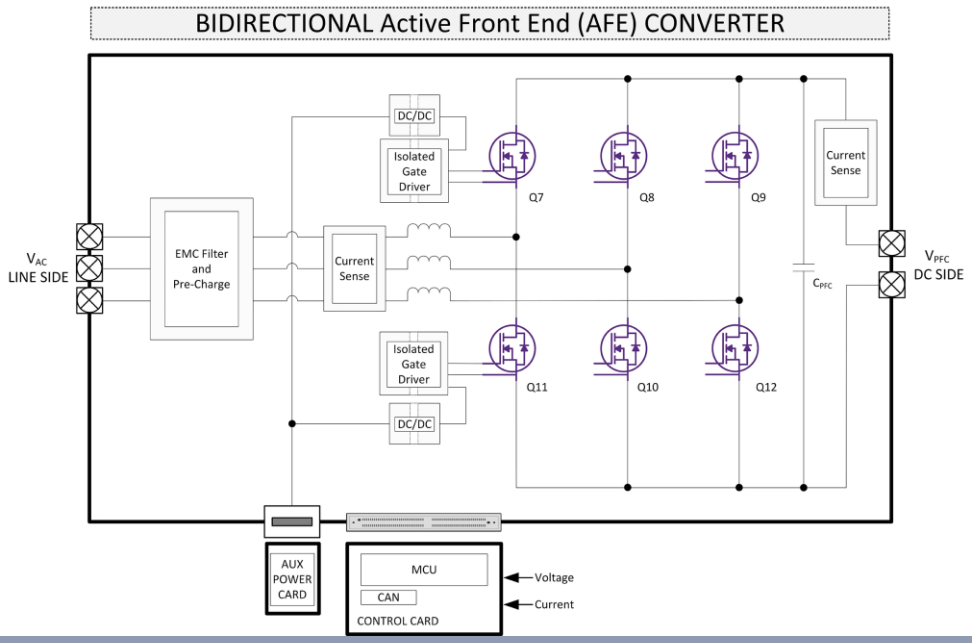
Funded by the European Union

FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES KOSOVSKA MITROVICA

## AC/DC DC/AC Convertor

## 22 kW Трофазни двострани активни исправљач

Употреба **1200V C3M™ SiC MOSFET** транзистора за израду **22kW трофазног двостраног активног исправљача (AFE) за пуњач (OBC)** електричних возила (EV)."



# Двострани енергетски претварачи за електрична возила – V2G (Vehicle-to-Grid) технологија

PELMOB

University of Pristina Kosovska Mitrovica

Funded by the European Union

FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES KOSOVSKA MITROVICA

## 22 kW Трофазни двострани активни исправљач

**AC/DC DC/AC Convertor**

Густина снаге 4.6kW/L

### Inverter Mode

•Улазни параметри (DC):

•Напон: 350 V → 760 V DC

•Максимална струја: 20 A

•Излазни параметри (AC):

•Напон: 230 Vrms (једнофазни)

•Фреквенција: 50 Hz

•Максимална снага: 6.6 kW

• Фреквенција прекидања: 45 kHz

•Хладњак (расхладна плоча): Дизајниран за симулацију реалних услова хлађења

•CAN интерфејс: Омогућава комуникацију са системима возила

### FC режим (Корекција фактора снаге)

**Трофазни улаз:**

Улазни напон: 305 V → 450 V (линијски), 50/60 Hz

Максимална струја: 32 A

Излазни DC напон: 650 V → 900 V

Максимална снага: 22 kW

**Једнофазни улаз:**

Улазни напон: 180 Vrms → 264 Vrms, 50/60 Hz

Максимална струја: 32 A

Излазни DC напон: 380 V → 900 V

Максимална снага: 6.6 kW

# Двострани енергетски претварачи за електрична возила – V2G (Vehicle-to-Grid) технологија

PELMOB

University of Pristina Kosovska Mitrovica

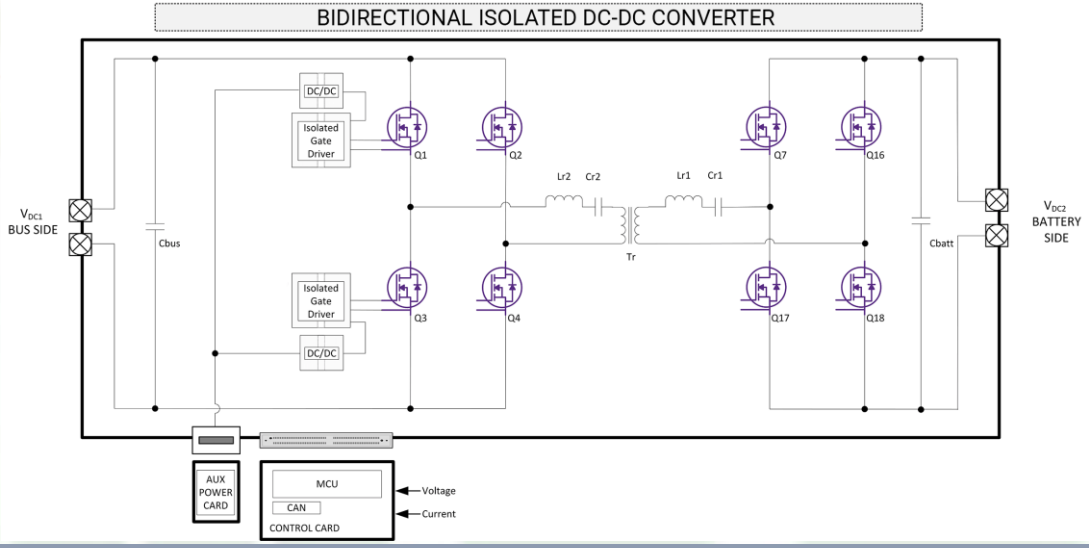
Funded by the European Union

FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES KOSOVSKA MITROVICA

## 22 kW двострани изоловани двоструки активни мостни DC-DC претварач

## DC/DC Претварач

Употреба **1200V C3M™ SiC MOSFET** транзистора за израду **22kW трофазног двостраног активног исправљача (AFE) за пуњач (OBC)** електричних возила (EV)."



# Двострани енергетски претварачи за електрична возила – V2G (Vehicle-to-Grid) технологија

PELMOB

University of Pristina Kosovska Mitrovica

Funded by the European Union

FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES KOSOVSKA MITROVICA

## 22 kW двострани изоловани двоструки активни мостни DC-DC претварач

### DC/DC Convertor

**Режим пуњења**

Излазни напон: Номинално 480V-800V DC. Систем способан за 200V-800V DCПри Vin=650V-900V DC; Излазна снага: 22kW; Излазна струја: 36АПри Vin=380V-900V DC; Излазна снага: 6,6kW; Излазна струја: 26,4А

**Режим пражњења**

Излазни напон: Номинално 360V-750V DCИзлазна снага: 6,6kW; Излазна струја: 19ACLLC резонантни конвертор са пуним мостом који ради на 135-250kHzОпремљени хладњак за симулацију плоче за хлађењеCAN интерфејс

PELMOB

University of Pristina
Kosovska Mitrovica

# Двострани енергетски претварачи за електрична возила – V2G (Vehicle-to-Grid) технологија

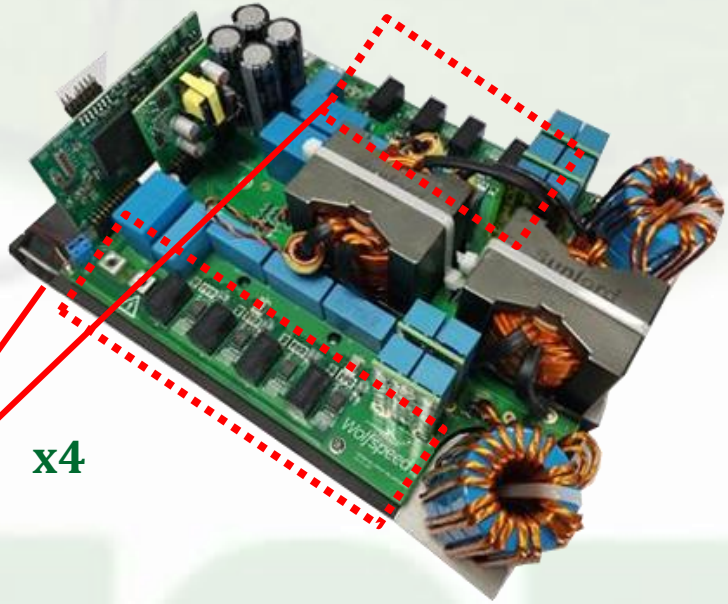
Funded by the European Union

FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES
KOSOVSKA MITROVICA

## 22 kW Трофазни двострани активни исправљач

## 22 kW двострани изоловани двоструки активни мостни DC-DC претварач

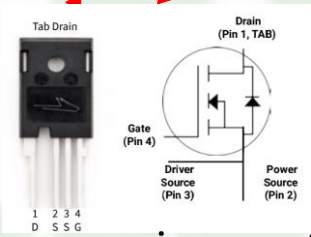
+



x4

x4

x6




**AC/DC DC/AC Претварач**

Густина снаге of 4.6kW/L

**DC/DC Претварач**

Густина снаге of 4.6kW/L

1200V 75mohm силицијум-карбид енергетски MOSFET

PELMOB

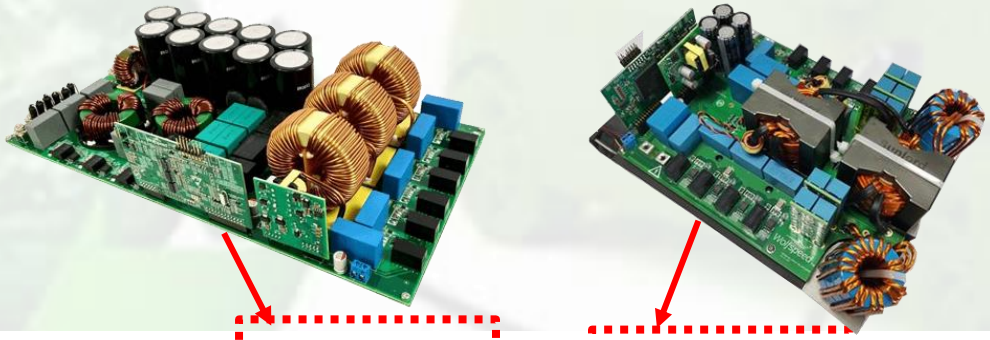
University of Pristina
Kosovska Mitrovica

# Двострани енергетски претварачи за електрична возила – V2G (Vehicle-to-Grid) технологија

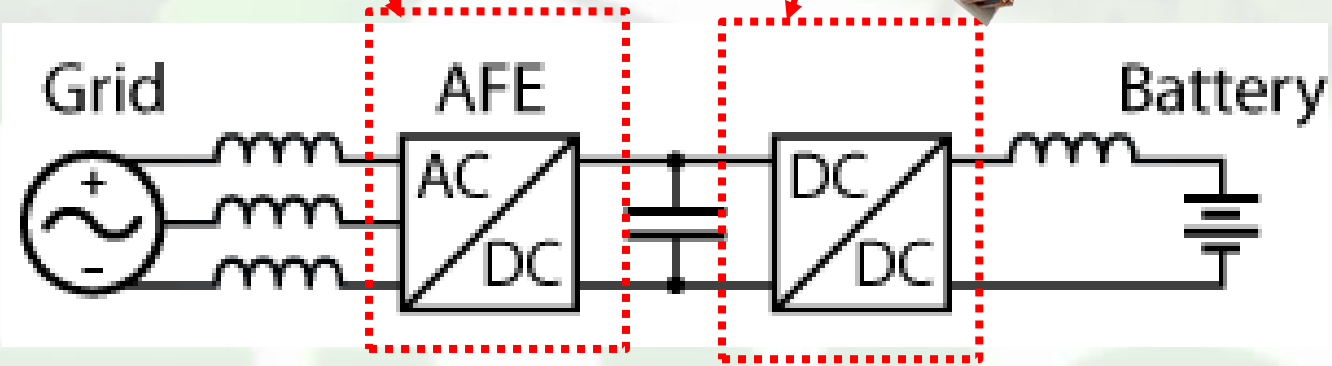
Funded by the European Union

FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES
KOSOVSKA MITROVICA

## Брзи пуњач за електрична возила








**22 kW Трофазни двострани активни исправљач**

**22 kW двострани изоловани двоструки активни мостни DC-DC претварач**

# Двострани енергетски претварачи за електрична возила – V2G (Vehicle-to-Grid) технологија

PELMOB

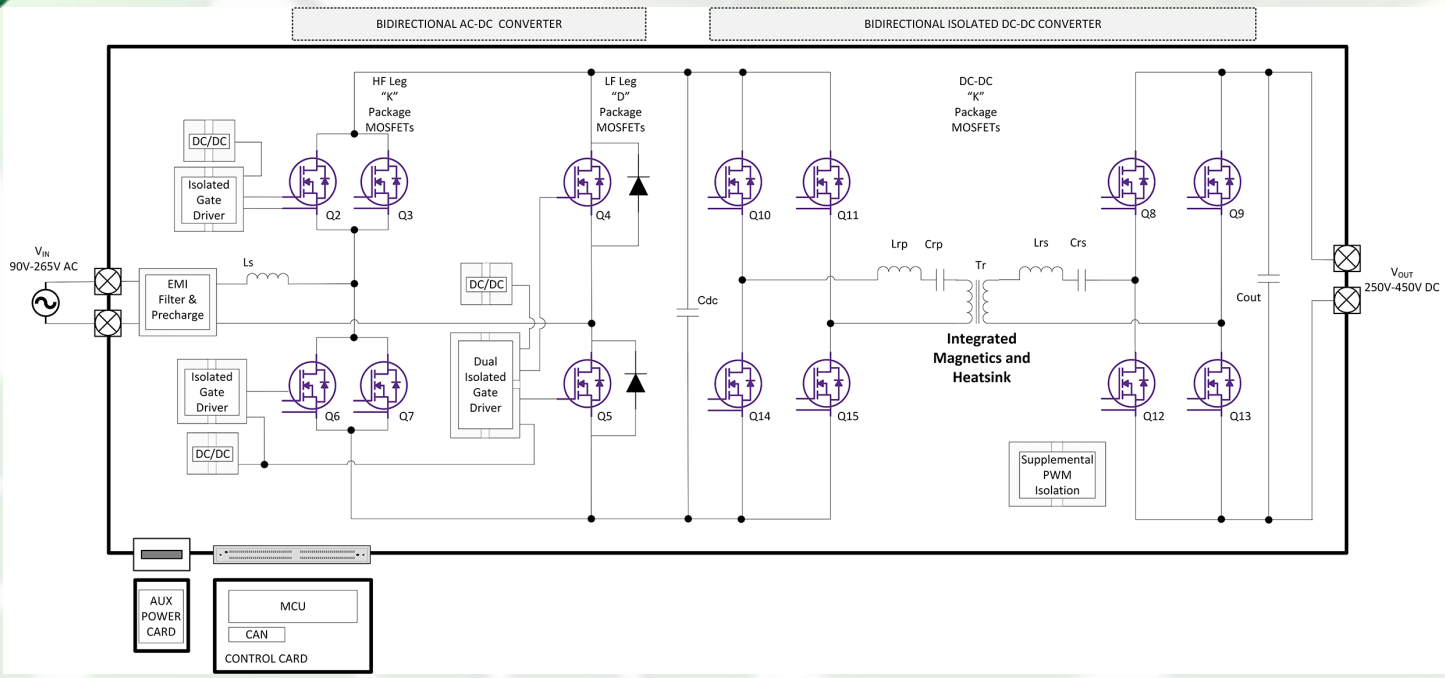
University of Pristina Kosovska Mitrovica

Funded by the European Union

FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES KOSOVSKA MITROVICA

## 6.6 kW Двострани Тотем –пол PFC и резонантни CLLC, Висока густина снаге

650V E-Series силицијум карбид MOSFET-ови и пуњач батерија високе густине снаге монтиран у возилу (OBC) за електрична возила (EV)



# 6.6 kW Двострани Тотем –пол PFC и резонантни CLLC, Висока густина снаге

650V E-Series силицијум карбид MOSFET-ови и пуњач батерија високе густине снаге монтиран у возилу (OBC) за електрична возила (EV)

**Спецификације**

Универзални једнофазни улазни напон између 90V и 265V

Излазни напон од 250V-450V DC

Излазна струја 18A у режиму пуњења

Предњи AC/DC PFC користећи CCM Totem-Pole двосмерну топологију која ради на 67KHz

Двосмерни DC/DC CLLC резонантни конвертор који ради на 148-300KHz

Константна струја; режим константног напона или константне снаге
Јединствени интегрисани дизајн хладњака уклања топлоту са MOSFET-ова; трансформатора и индуктора

CAN интерфејс

PELMOB

University of Pristina
Kosovska Mitrovica

# Двострани енергетски претварачи за електрична возила – V2G (Vehicle-to-Grid) технологија

Funded by the European Union

FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES
KOSOVSKA MITROVICA

## 6.6 kW Двострани резонантни CLLC претварач са двоструким активним мостом

## DC/DC Претварач

**Спецификације**

Улазни напон: 380 – 600 V DC

Излазни напон: 280 – 450 V DC

Максимална снага: 6,6 kW

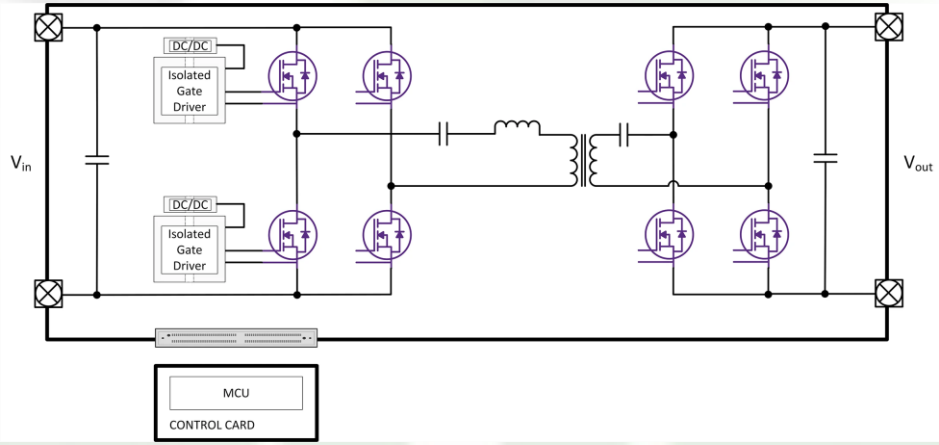
Максимална ефикасност: 98%

**Примене**

Уграђени пуњач

Брзо пуњење

Уграђени DC/DC конвертор



# Двострани енергетски претварачи за електрична возила – V2G (Vehicle-to-Grid) технологија

Funded by the European Union
FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES
KOSOVSKA MITROVICA

## Јединица kW/L?

**Јединица kW/L** значи **киловати по литру** и представља меру **густине снаге**.

**kW (киловат):** Јединица снаге која представља брзину конверзије или преноса енергије (1 kW = 1000 вати).
**L (литар):** Јединица запремине (1 L = 0,001 m³).

**Шта значи 6,5 kW/L:**

•Означава да конвертор снаге може да испоручи 6,5 киловата снаге за сваки литар своје запремине.

**Виша вредност kW/L** значи да је конвертер **компактнији и ефикаснији** у погледу излазне снаге у односу на своју величину.

**Зашто је то важно?**
Висока густина снаге (као **6,5 kW/L**) је кључна у применама где је простор ограничен, на пример:

- •Електрична возила (EV)
- •Аеро-космички системи
- •Преносиви системи напајања
- •Дата центри

Она одражава напредак у **управљању топлотом, ефикасности полупроводника и технологијама паковања**.
**Поређење:**
Традиционални конвертори снаге могу имати густину снаге у опсегу **1–3 kW/L**.
**6,5 kW/L** се сматра **веома високом вредношћу**, што указује на врхунски дизајн и материјале.

PELMOB

University of Pristina Kosovska Mitrovica

# Двострани енергетски претварачи за електрична возила – V2G (Vehicle-to-Grid) технологија

Funded by the European Union

FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES KOSOVSKA MITROVICA

## Топологије енергетских претварача за електрична возила и V2G

| Топологија | Кључне карактеристике | Ефикасност | Опсег снаге | Најбоље за | Спојљиво са V2G? |
|---|---|---|---|---|---|
| Totempole PFC (SiC/GaN) | Без моста, двосмерна, ниски THD | >98% | 3,7–22 kW | Премијум ЕВ (Tesla, Lucid) | Да |
| Виена исправљач (Vienna Rectifier) | Економичан, PFC са 3 нивоа | 97% | 3,7–11 kW | Масовни 400V ЕВ | Не |
| ANPC/3-Level NPC | Са неутралном тачком, подршка за 800V+ | 97–99% | 22–350 kW | Ултра-брзо пуњење (Porsche Taycan) | Да |
| MMC | Модуларна, скалабилна, изузетно ниски THD | 98–99% | 50 kW–1 MW+ | HVDC, пуњење флоте | Да |
| Двоструки активни мост (DAB) | Изолована, двосмерна, меко пребацивање | >98% | 11–350 kW | Високоснажни OBC (V2G/V2L) | Да |
| CLLC Резонантна | Високофреквентна, компактна, двосмерна | 98% | 6,6–22 kW | Интегрисани OBC (BMW, Hyundai) | Да |
| Бежично (индуктивно) | Без каблова, аутоматизовано пуњење | ~90% | 3,7–22 kW | Луксузни ЕВ (Mercedes EQ) | (Ограничено) |

# Двострани енергетски претварачи за електрична возила – V2G (Vehicle-to-Grid) технологија

Funded by the European Union
FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES KOSOVSKA MITROVICA

## Топологије енергетских претварача за електрична возила и V2G

- Кључне примене V2G/V2L:
  - ✓ Totempole PFC + DAB или ANPC.
  - ✓ Исплативо пуњење: Vienna + LLC.
  - ✓ Ултрабрзо пуњење (800V+): ANPC/MMC.
  - ✓ Електрична возила са ограниченим простором: CLLC или интеграција вучног инвертора.
- Циљеви у погледу запреминске густине снаге претварача:
  - ✓ Тренутно: 4,6 kW/L (нпр. 22 kW SiC AFE).
  - ✓ Будућност: 6,5+ kW/L (GaN, напредно хлађење).

# Двострани енергетски претварачи за електрична возила – V2G (Vehicle-to-Grid) технологија

Funded by the European Union
FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES KOSOVSKA MITROVICA

## Која топологија претварача снаге задовољава потребе за напајањем електричних возила и V2G могућности?

- За пројекте са приоритетом V2G/двостраног протока снаге:
  - ✓ Најбољи избор: Тотем-пол PFC (SiC/GaN) + DAB

    Зашто? Ефикасност >98%, компактни, са пуним V2G подршком (нпр. Tesla, Lucid).

    Опсег снаге: 11–22 kW.
  - ✓ Алтернатива: ANPC/MMC за ултра-брзо пуњење 800V+ (нпр. Porsche Taycan).
- За пројекте осетљиве на трошкове (без V2G):
  - ✓ Најбољи избор: Vienna Rectifier + LLC

    Зашто? Једноставни, ефикасност 97%, идеални за масовне 400V електрична возила.

    Опсег снаге: 3.7–11 kW.

# Двострани енергетски претварачи за електрична возила – V2G (Vehicle-to-Grid) технологија

Funded by the European Union
FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES
KOSOVSKA MITROVICA

## Која топологија претварача снаге задовољава потребе за напајањем електричних возила и V2G могућности?

- **За пројекте са ограниченим простором:**

✓ **Најбољи избор: CLLC резонантни или интеграција са погонским инвертором**
**Зашто? Користи постојеће намоте мотора (нпр. Renault ZOE) или високофреквентну изолацију.**

- **За екстремно високе снаге (пуњење флота/мегават нивоа):**

✓ **Најбољи избор: Модуларни мулти-ниво конвертер (MMC)**
**Зашто? Може се скалирати до MW нивоа са ниским THD (нпр. електрични аутобуси/камиони).**

# Двострани енергетски претварачи за електрична возила – V2G (Vehicle-to-Grid) технологија

Funded by the European Union
FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES KOSOVSKA MITROVICA

## Финална разматрања

- **Двострани проток енергије је кључан за V2G:**
  - ✓ **Омогућава електричним возилима да врате енергију у мрежу (V2G), кућним системима (V2H) или потрошачима (V2L).**
  - ✓ **Топологије попут Totempole PFC, ANPC и DAB су доминантне због ефикасности и могућности контроле.**

- **Избор топологије зависи од примене:**
  - ✓ **Ниска снага (≤7 kW): Vienna Rectifier + LLC (исплативи избор).**
  - ✓ **Средња снага (11–22 kW): Totempole PFC (SiC) + DAB (висока ефикасост, подршка за V2G).**
  - ✓ **Висока снага (≥50 kW): ANPC/MMC (800V+, ултра-брзо пуњење).**

# Двострани енергетски претварачи за електрична возила – V2G (Vehicle-to-Grid) технологија

Funded by the European Union
FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES KOSOVSKA MITROVICA

## Финална разматрања

- Трендови интеграције:
  - ✓ Поновна употреба тракционог инвертера: Уштеда простора и тежине (нпр. Hyundai E-GMP платформа).
  - ✓ Бежично пуњење: Погодно, али мање ефикасно (~90%).
- Циљеви перформанси:
  - ✓ Ефикасност:

  98% (уграђени пуњач - OBC)

  99% (PFC коррекција фактора снаге)
- Густина снаге:
  - ✓ 4,6 kW/L (остваривo са SiC/GaN технологијама).

# Двострани енергетски претварачи за електрична возила – V2G (Vehicle-to-Grid) технологија

## Будући правци развоја

Funded by the European Union
FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES KOSOVSKA MITROVICA

- **Полупроводници широког опсега (SiC/GaN):**
  - ✓ Омогућавају **више прекидне фреквенције**, смањујући величину и тежину. Кључни за постизање **густине снаге од 6,6 kW/L+** (нпр. CLLC конвертори од 22 kW).
- **Модуларне архитектуре:**
  - ✓ **MMC и FCML конвертори** се скалирају за мегаватно пуњење (камиони, аутобуси).
- **Стандардизација:**
  - ✓ Усклађивање **V2G протокола** и **референтних вредности за топологије** (нпр. THD <5%).

# Двострани енергетски претварачи за електрична возила – V2G (Vehicle-to-Grid) технологија

Funded by the European Union
FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES KOSOVSKA MITROVICA

## ЗАКЉУЧАК

- Конвертори снаге су темељ електричних возила (V2G) која подржавају проток снаге од возила ка дистрибутивној мрежи, балансирајући ефикасност, трошкове и двостране могућности. Индустрија се усмерава ка:

- ✓ Totempole PFC + DAB за масовну производњу ЕВ (11–22 kW)
- ✓ ANPC/MMC за високоснажне примене (800V+)
- ✓ Увођење SiC/GaN технологија за достизање циљева од 6,5 kW/L+ густине снаге

Будућност пуњења електричних возила лежи у дубоко интегрисаним, двостраним системима који максимизирају енергетску флексибилност уз минимални захтев за простором. Иновације у топологијама и полупроводницима ће покренути нови талас примене V2G технологије.