



**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

Двоstrани 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 or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them."*

**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



Funded by the  
European Union



University of Pristina  
Kosovska Mitrovica



FACULTY OF  
TECHNICAL SCIENCES  
KOSOVSKA MITROVICA

<https://pr.ac.rs/>

Филипа Вишњића бб, 38220 Косовска Митровица

+381 28 422 340

@ rektorat@pr.ac.rs

YouTube

Facebook

Instagram

WebMail

English



УНИВЕРЗИТЕТ У ПРИШТИНИ  
КОСОВСКА МИТРОВИЦА



УНИВЕРЗИТЕТ У ПРИШТИНИ  
КОСОВСКА МИТРОВИЦА

Универзитет ▾

Факултети ▾

Студије и студенти ▾

Наука и пројекти ▾

Међународна сарадња ▾

Алумни ▾



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



Funded by the  
European Union

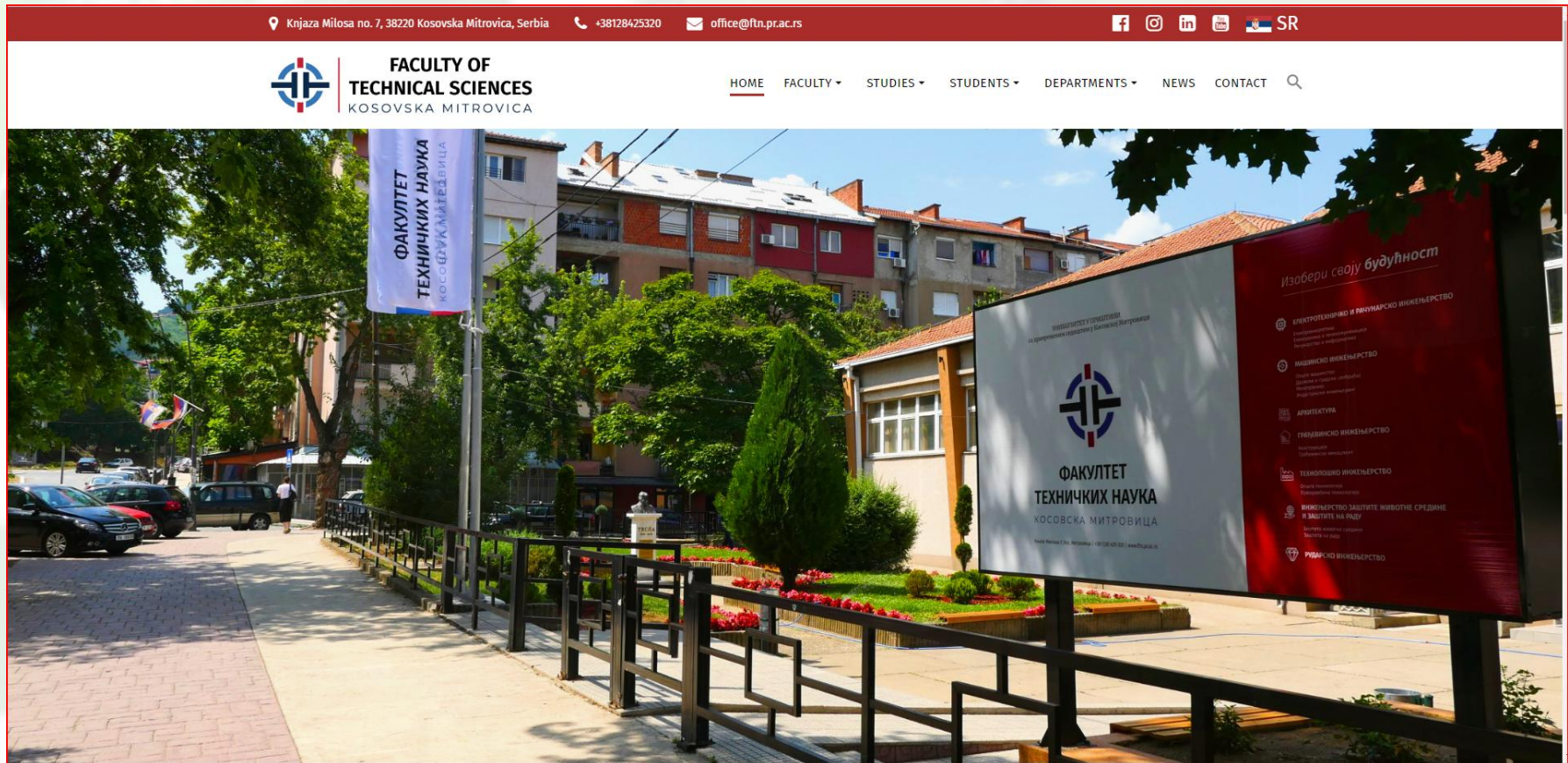


University of Pristina  
Kosovska Mitrovica



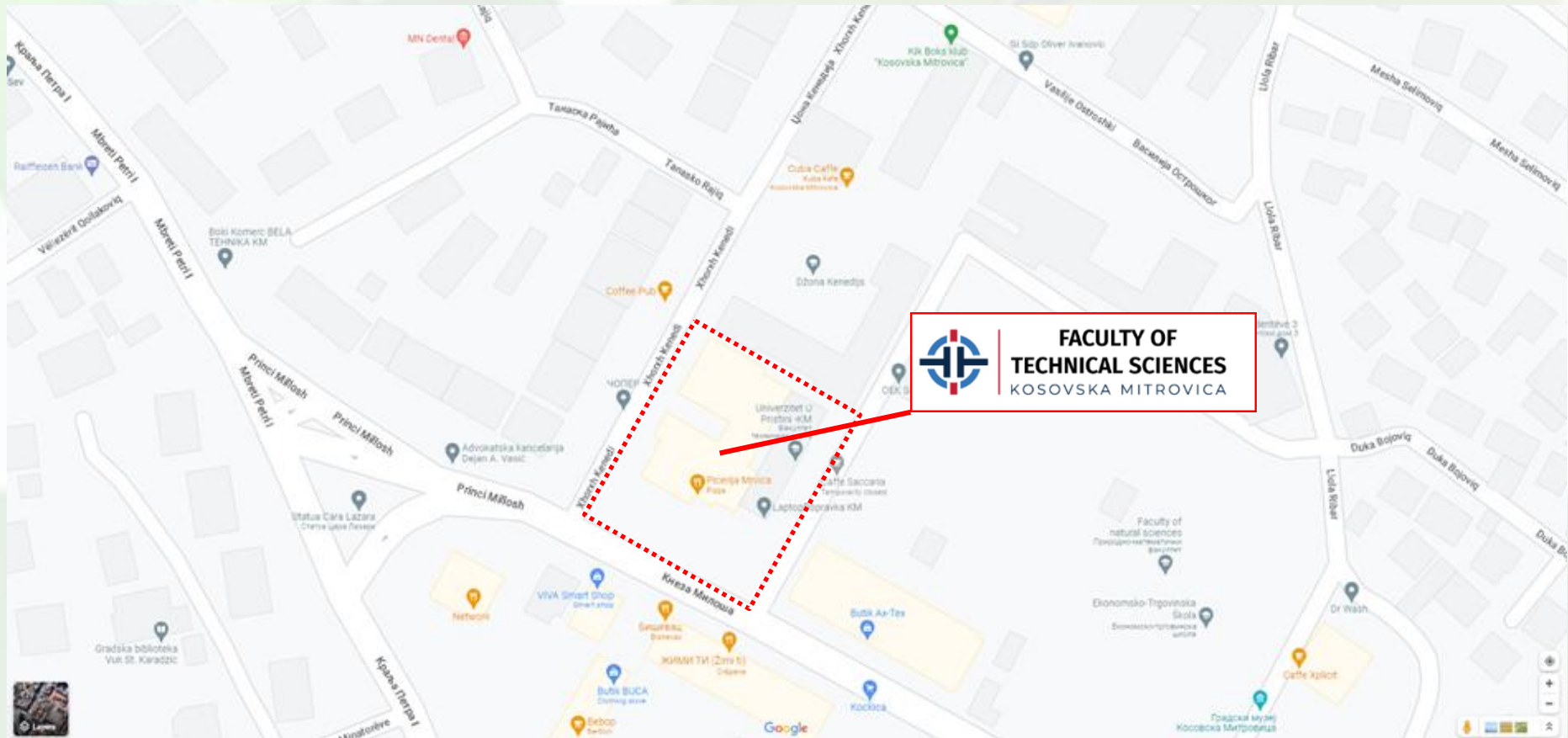
FACULTY OF  
TECHNICAL SCIENCES  
KOSOVSKA MITROVICA

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



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

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





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



**PELMOB**



University of Pristina  
Kosovska Mitrovica

# 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)

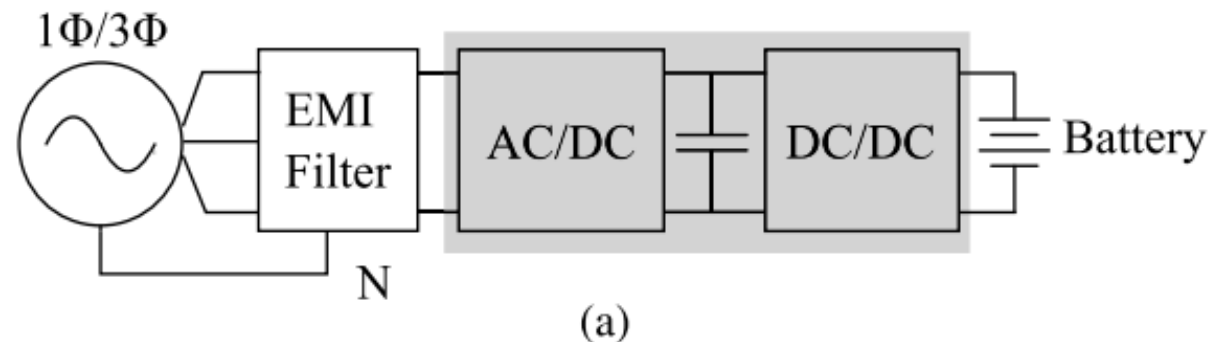


On-board Chargers (OBC) - Уграђени пуњачи батерија

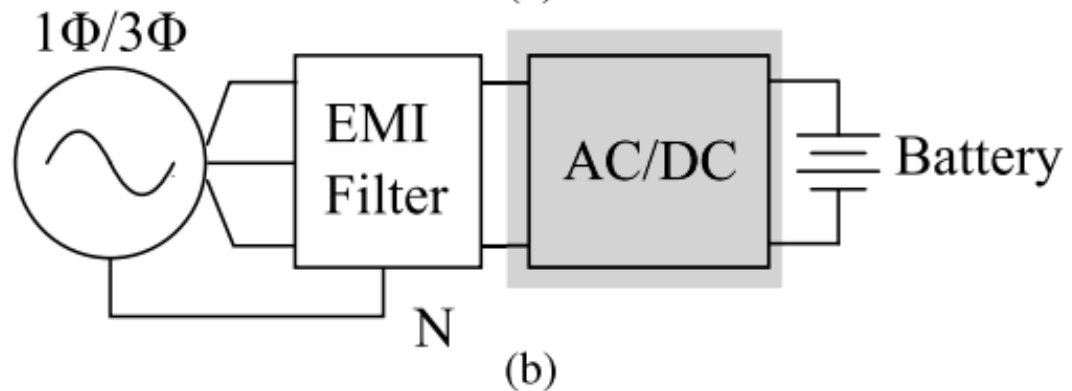
V2G (Vehicle-to-Grid) - Возило - у- мрежу (Пренос енергије из батерија на возилу у напојну мрежу преко двостраног претварача)

## Конфигурације двостраних пуњача батерија уграђених у возилу (ОБС)

(a) Двостепена архитектура

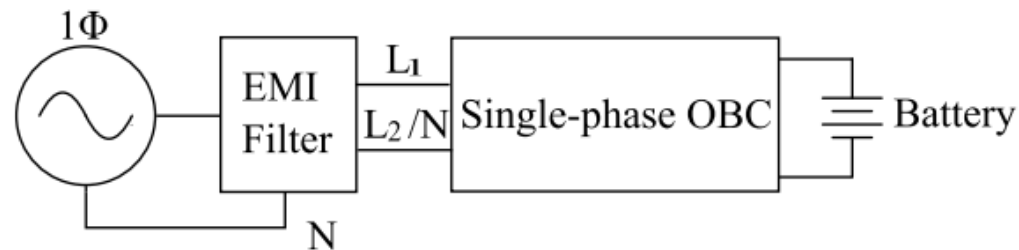


(b) Једностепена архитектура



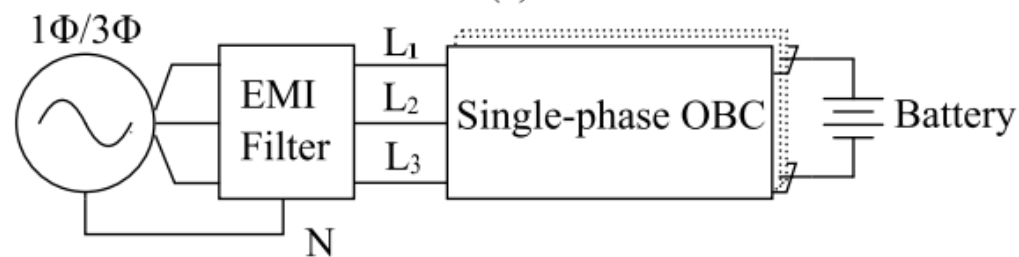
## Врсте улазних напајања двостраних пуњача батерија уграђених у возилу (OBC)

(a) Једнофазно напајање



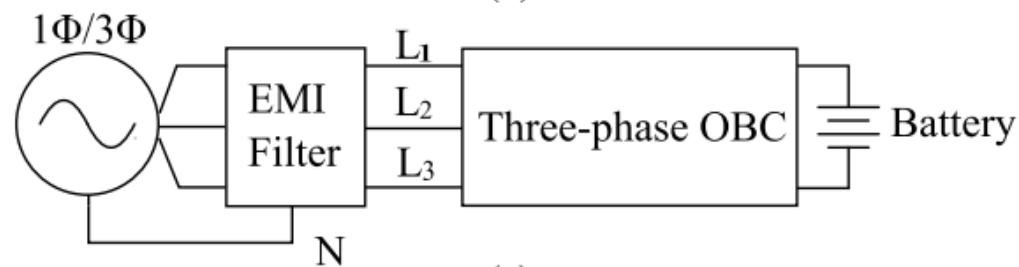
(a)

(b) Модуларно једнофазно напајање



(b)

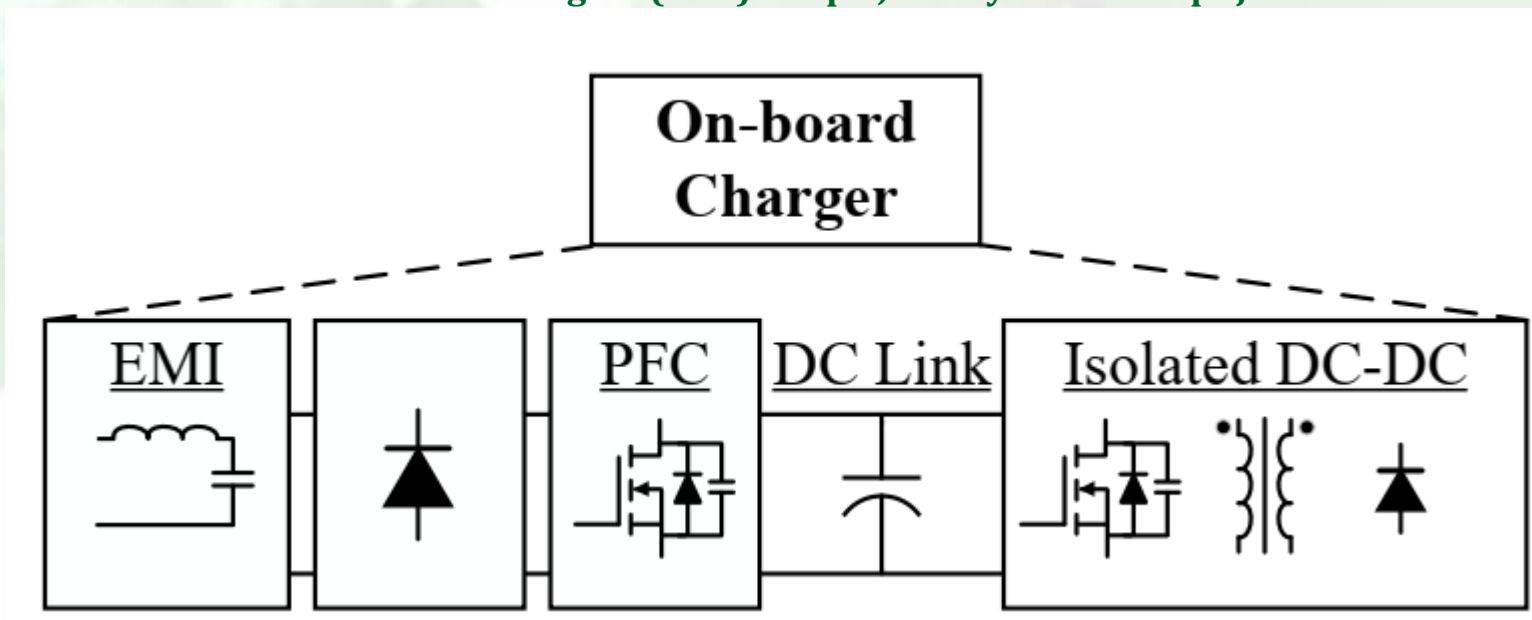
(c) Трофазно напајање



(c)

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

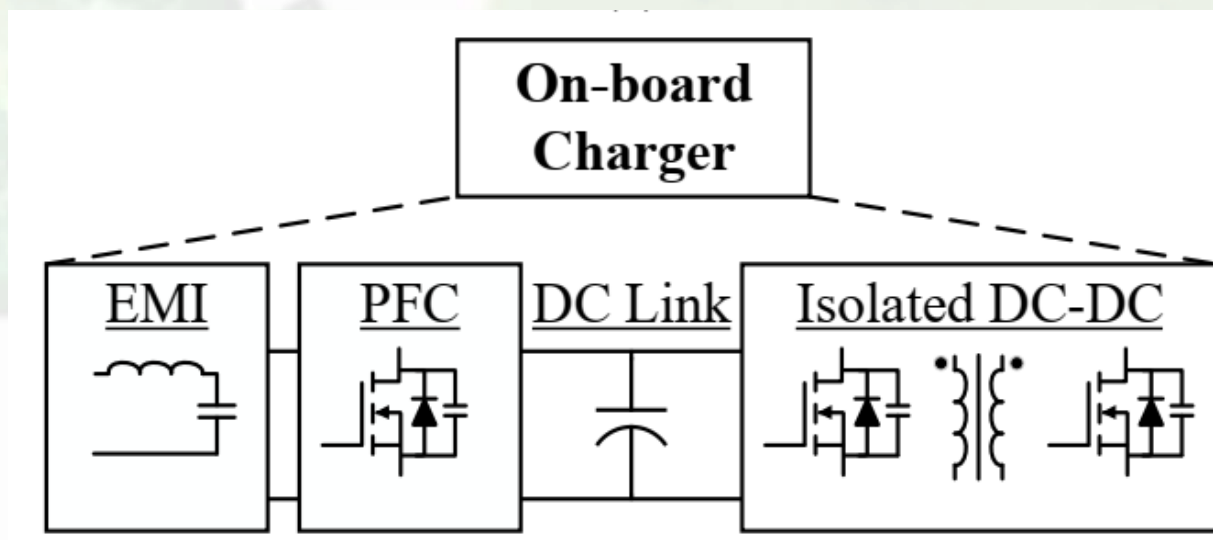
On-board Chargers (OBC) - Уграђени пуњачи батерија



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

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

On-board Chargers (OBC) - Уграђени пуњачи батерија



Пуњење батерије



Празњење батерије

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



**PELMOB**



University of Pristina  
Kosovska Mitrovica

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



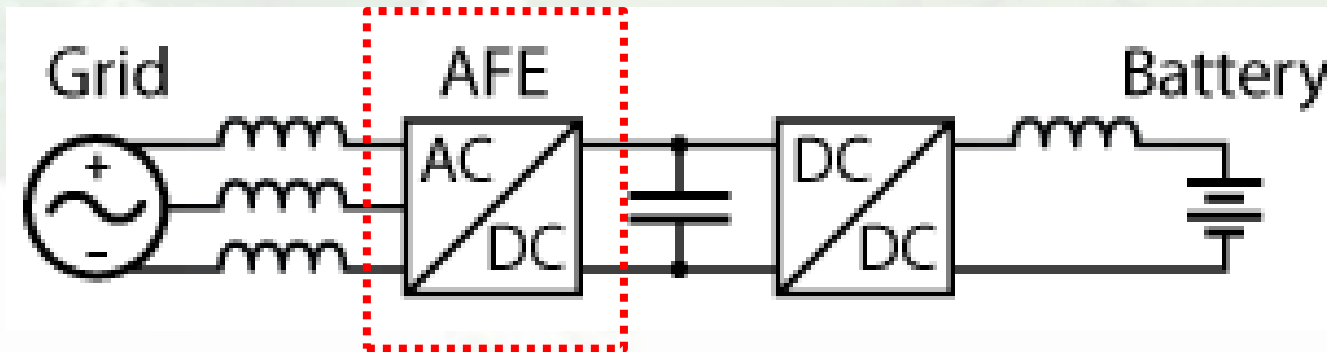
Funded by  
the European Union



FACULTY OF  
TECHNICAL SCIENCES  
KOSOVSKA MITROVICA

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

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



**Активни исправљач**

**Управљиви исправљач (AC – DC)**

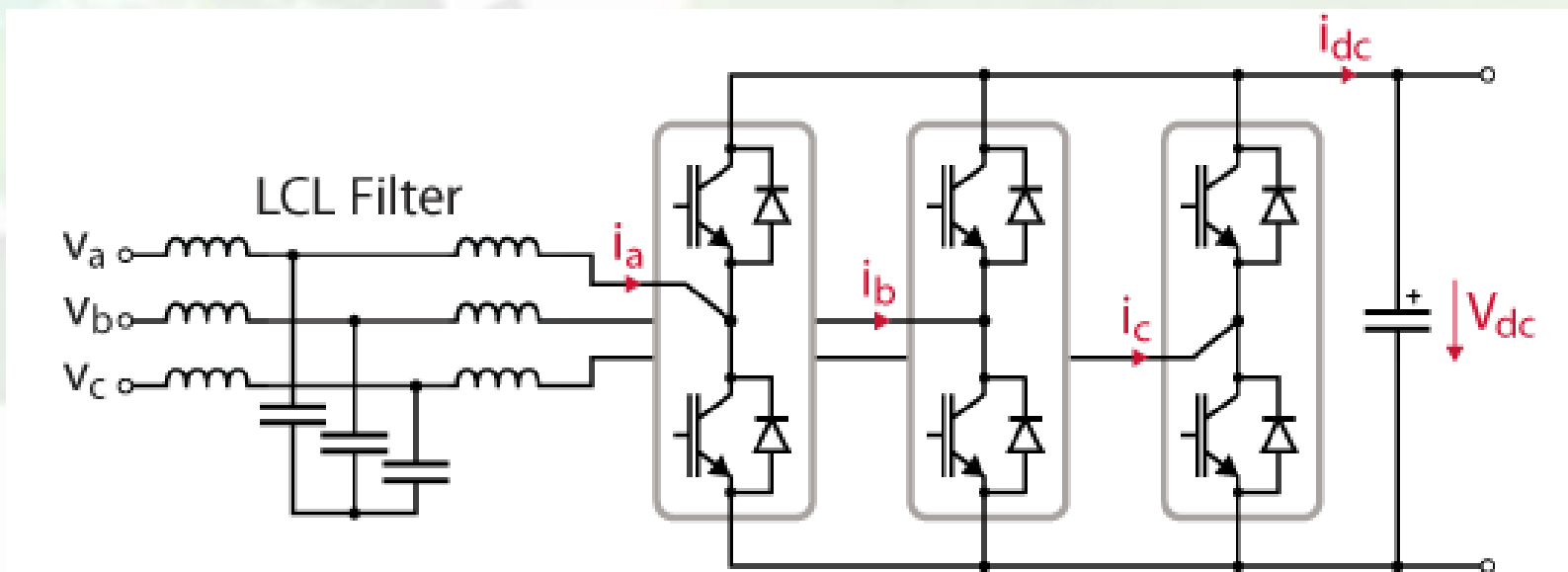
**Active Front End (AFE)** - Буквални превод је: „Активни улазни степен“, или „Активни улазни крај“. Односи се на улазни степен или улазни крај комплетног претварача (пуњача).

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

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

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

### Уобичајена топологија активног исправљача



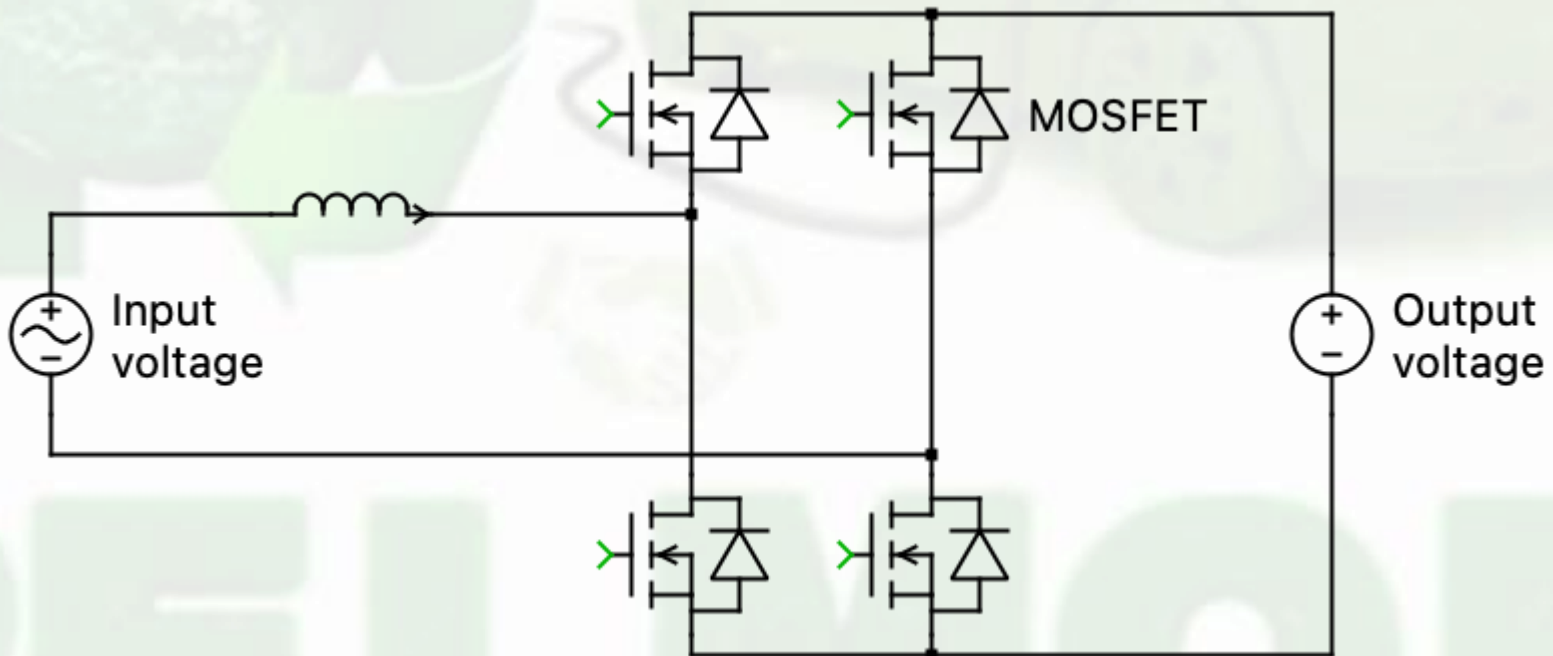
**Активни исправљач** припада породици управљивих исправљача који служе претварању наизменичне (AC) у једносмерну струју (DC). За разлику од традиционалних диодних исправљача, **активни исправљач** омогућава **двострани (двоусмерени) проток енергије** (тј. регенеративно враћање снаге у мрежу) и активно 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.

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

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

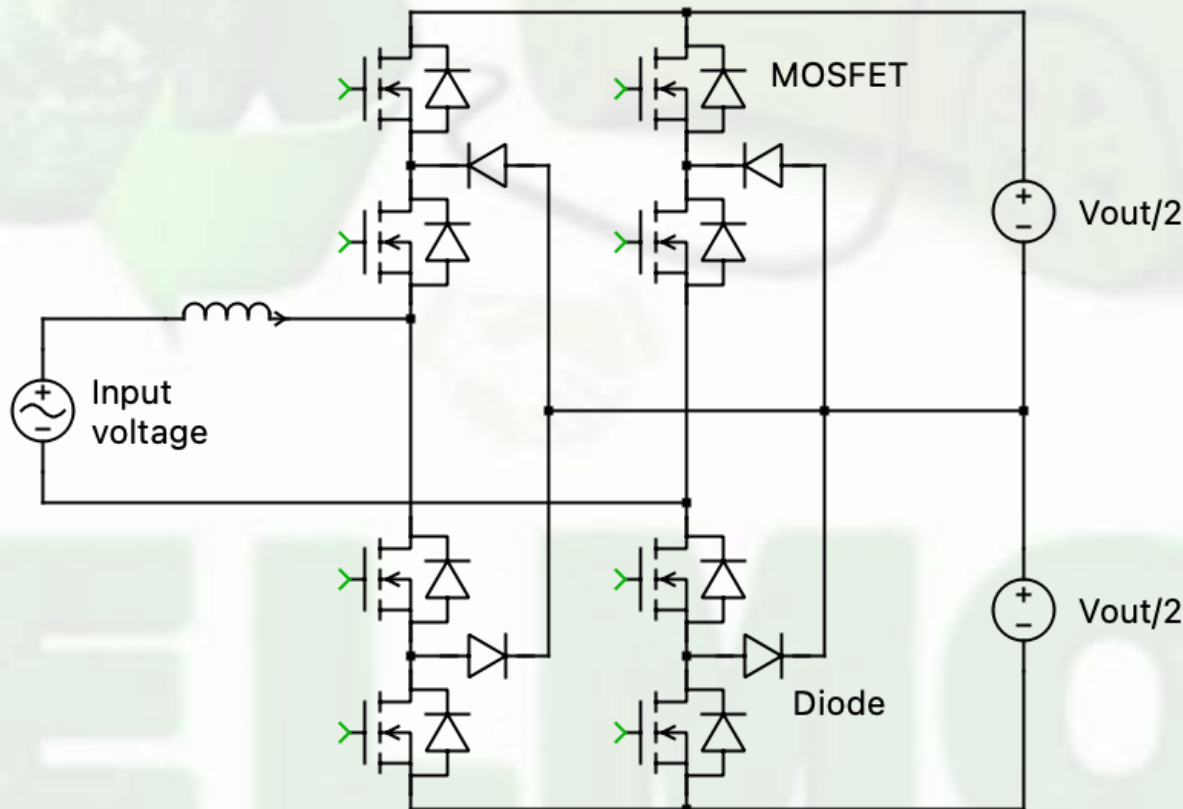
### Single Phase 2-Level Active Front End (AFE)

#### Једнофазни двонивојски активни исправљач



Једнофазни тринивојски активни исправљач (AFE) са неутралном тачком (NPC)

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





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

## Упоредне к-ка: једнофазни двонивојски и једнофазни тринивојски 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**



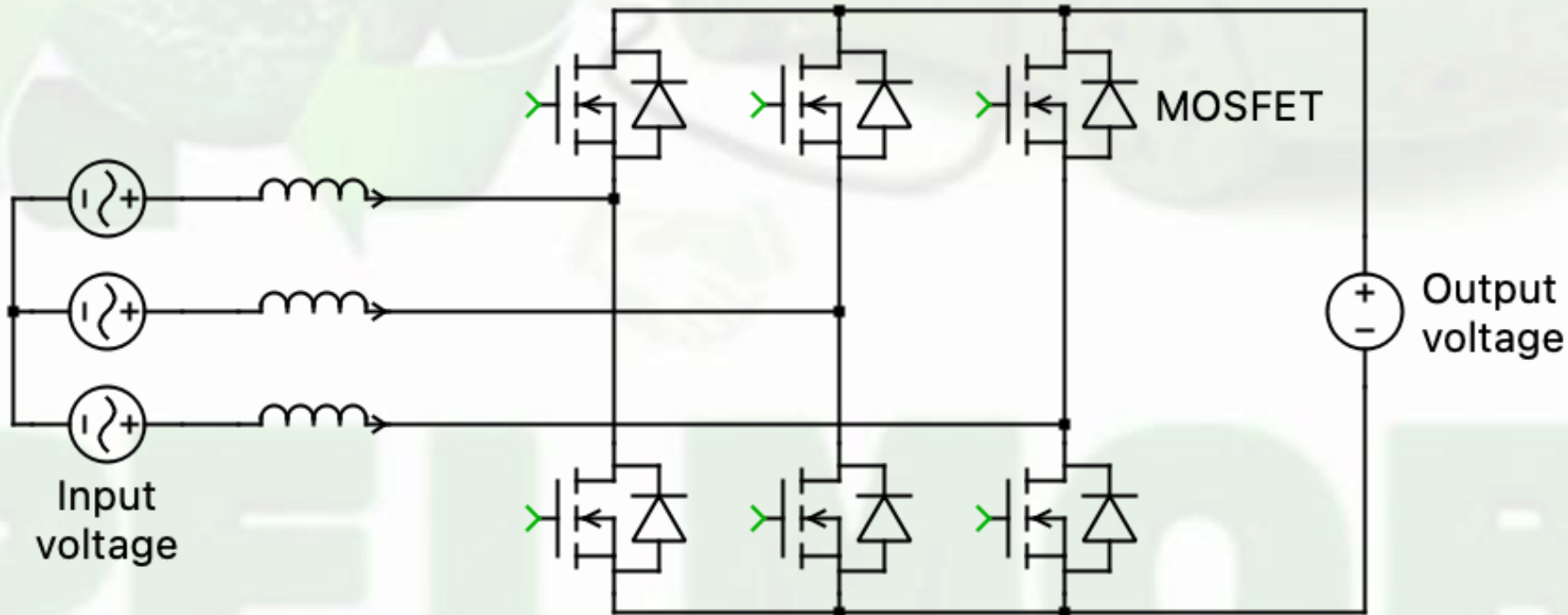
University of Pristina  
Kosovska Mitrovica

# 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)



Funded by  
the European Union

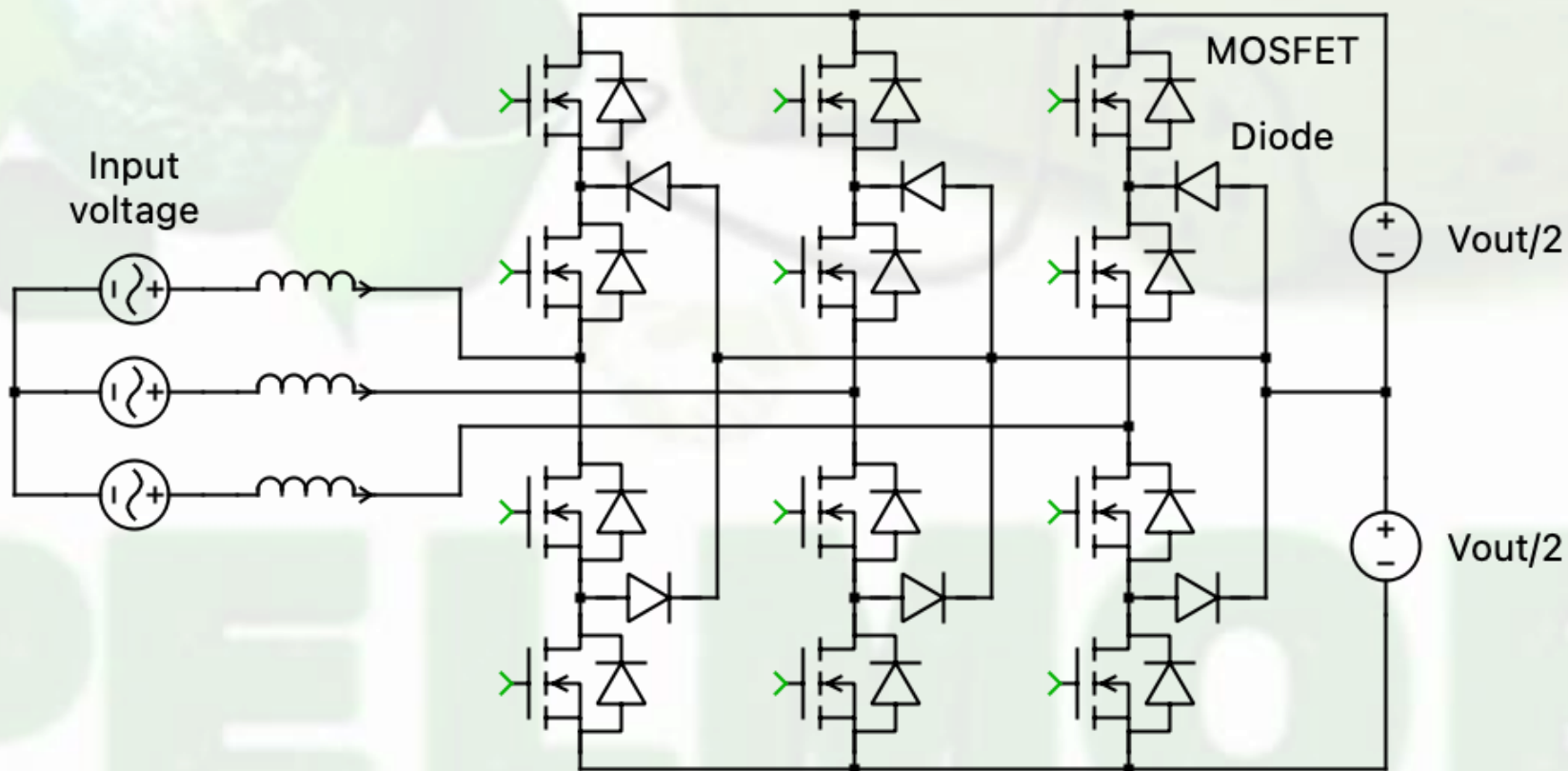


FACULTY OF  
TECHNICAL SCIENCES  
KOSOVSKA MITROVICA

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

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

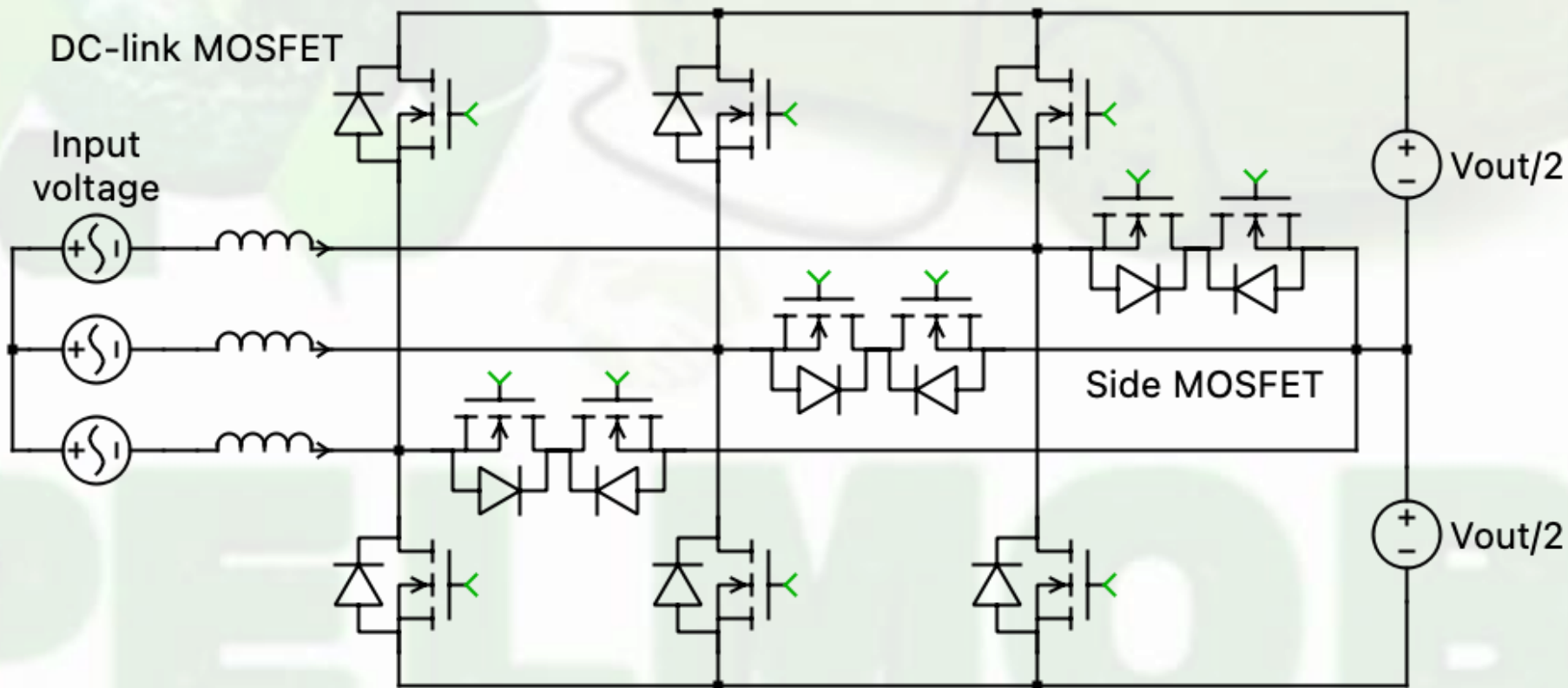
### Трофазни тронивојски активни исправљач (AFE) са неутралном тачком (NPC)



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



Funded by the European Union



FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES  
KOSOVSKA MITROVICA

University of Pristina  
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



**PELMOB**



University of Pristina  
Kosovska Mitrovica

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

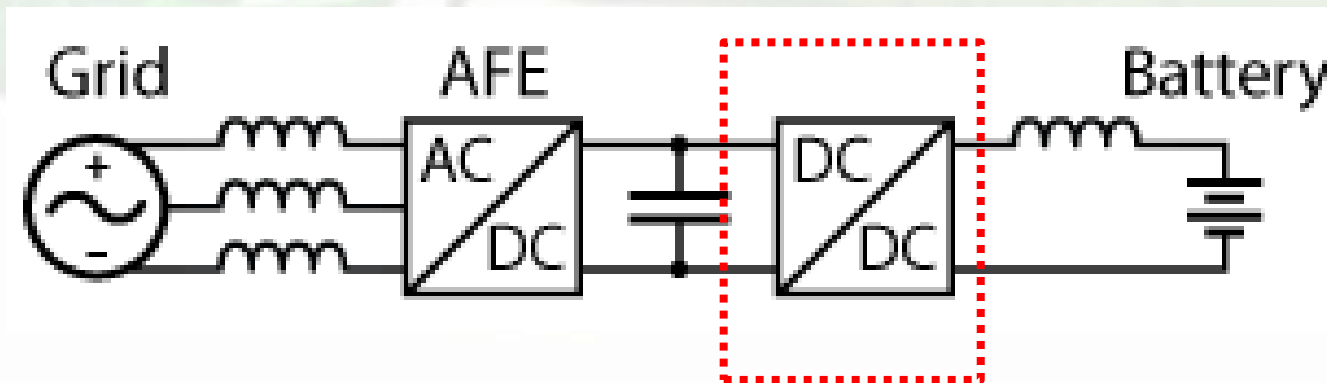


Funded by  
the European Union



FACULTY OF  
TECHNICAL SCIENCES  
KOSOVSKA MITROVICA

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



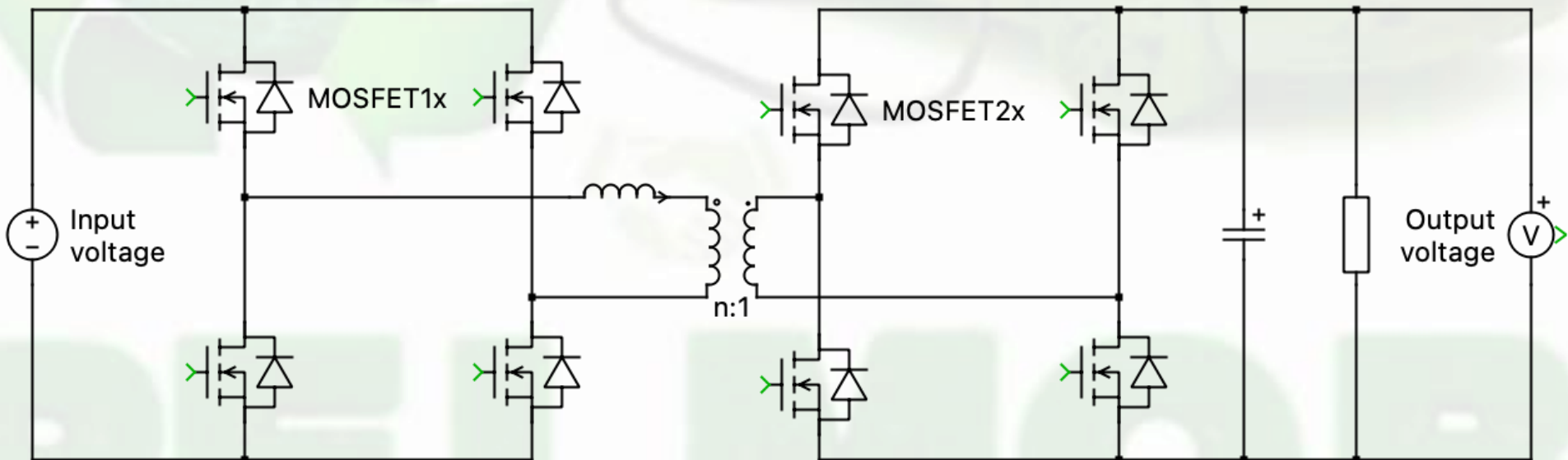
**Управљиви DC – DC претварачи**

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

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

### Управљиви DC – DC претварачи

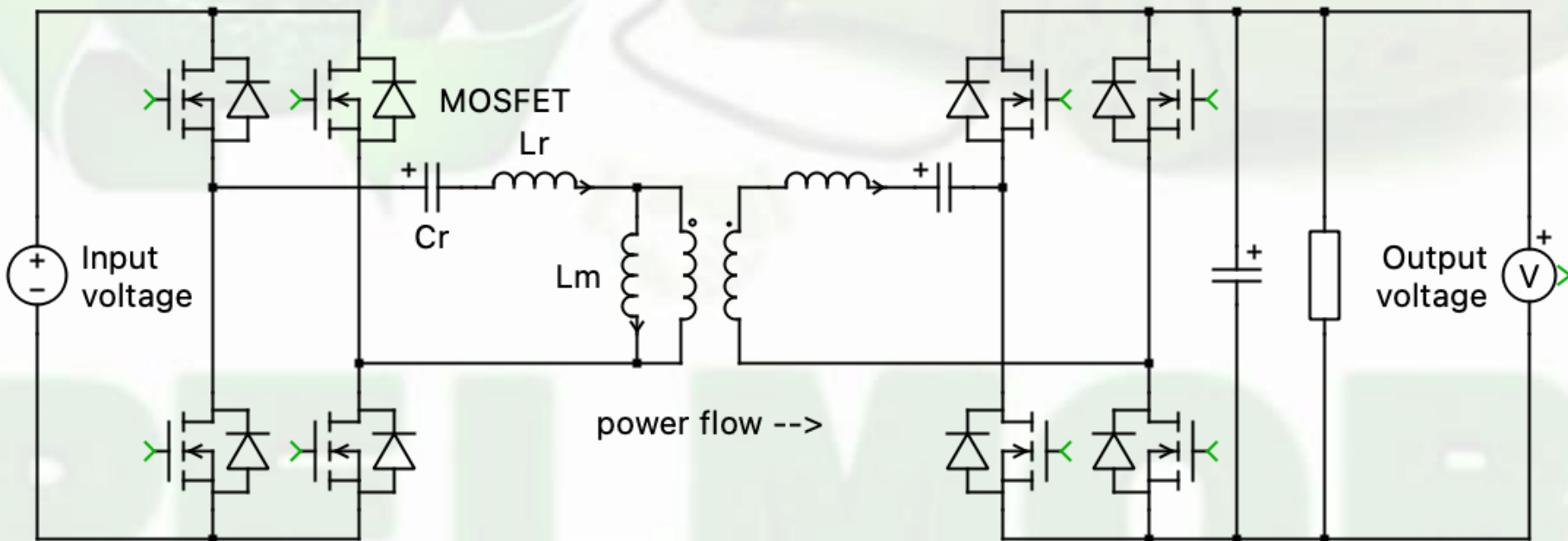
### Двоструки активни мостни претварач



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

### Управљиви DC - DC претварачи

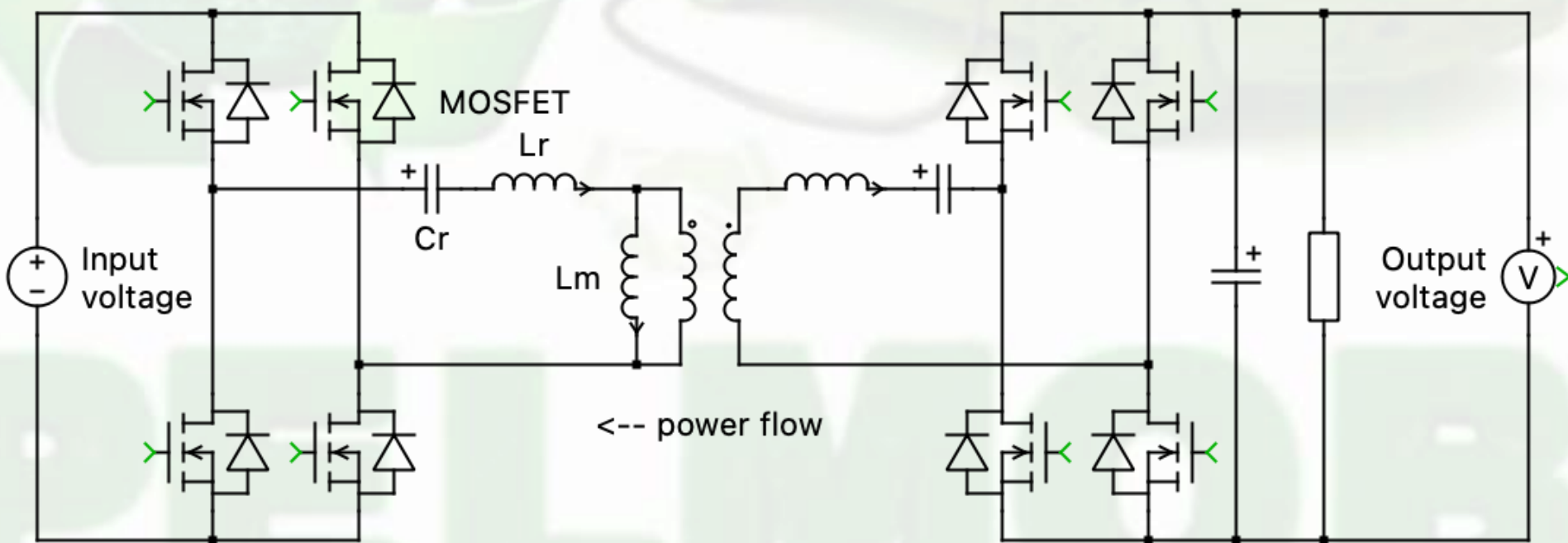
### Резонантни CLLC претварач (режим пуњења)



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

### Управљиви DC – DC претварачи

### Резонантни CLLC претварач (режим пражњења)





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



Funded by  
the European Union

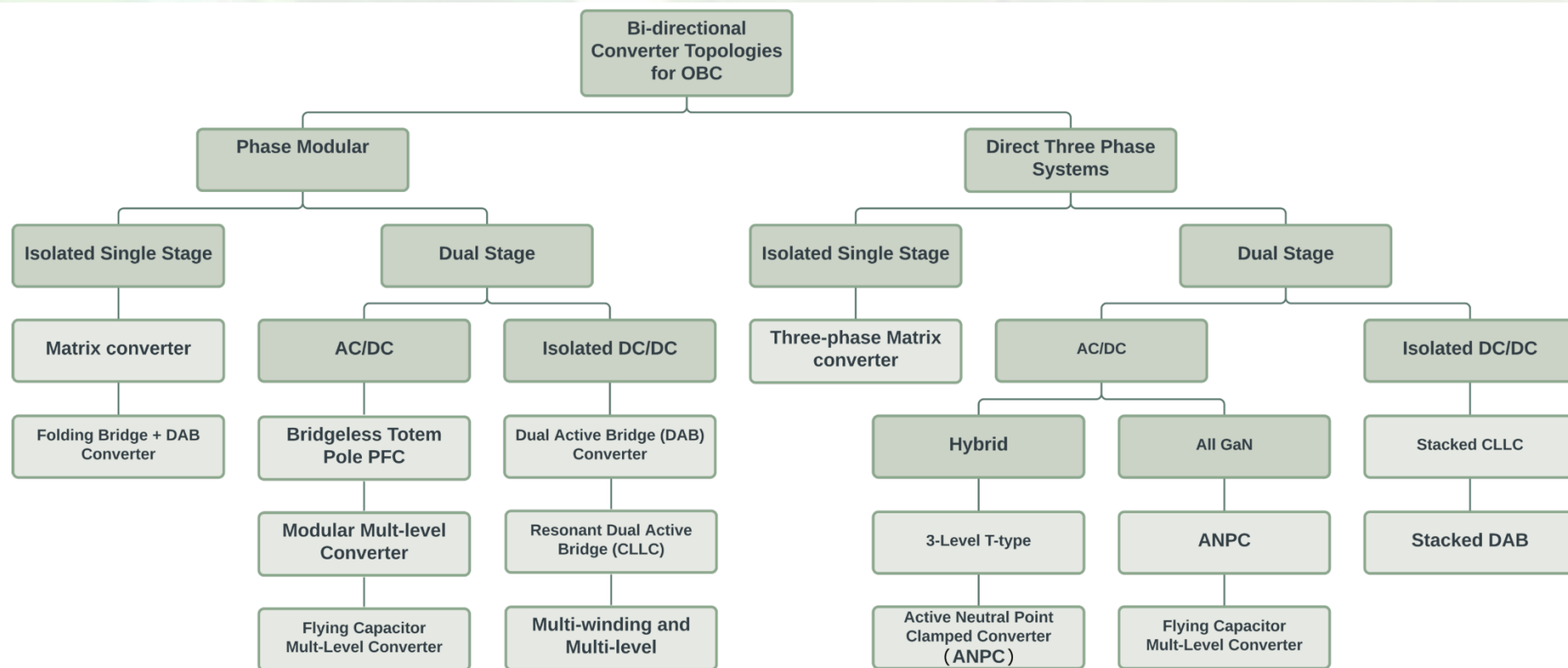


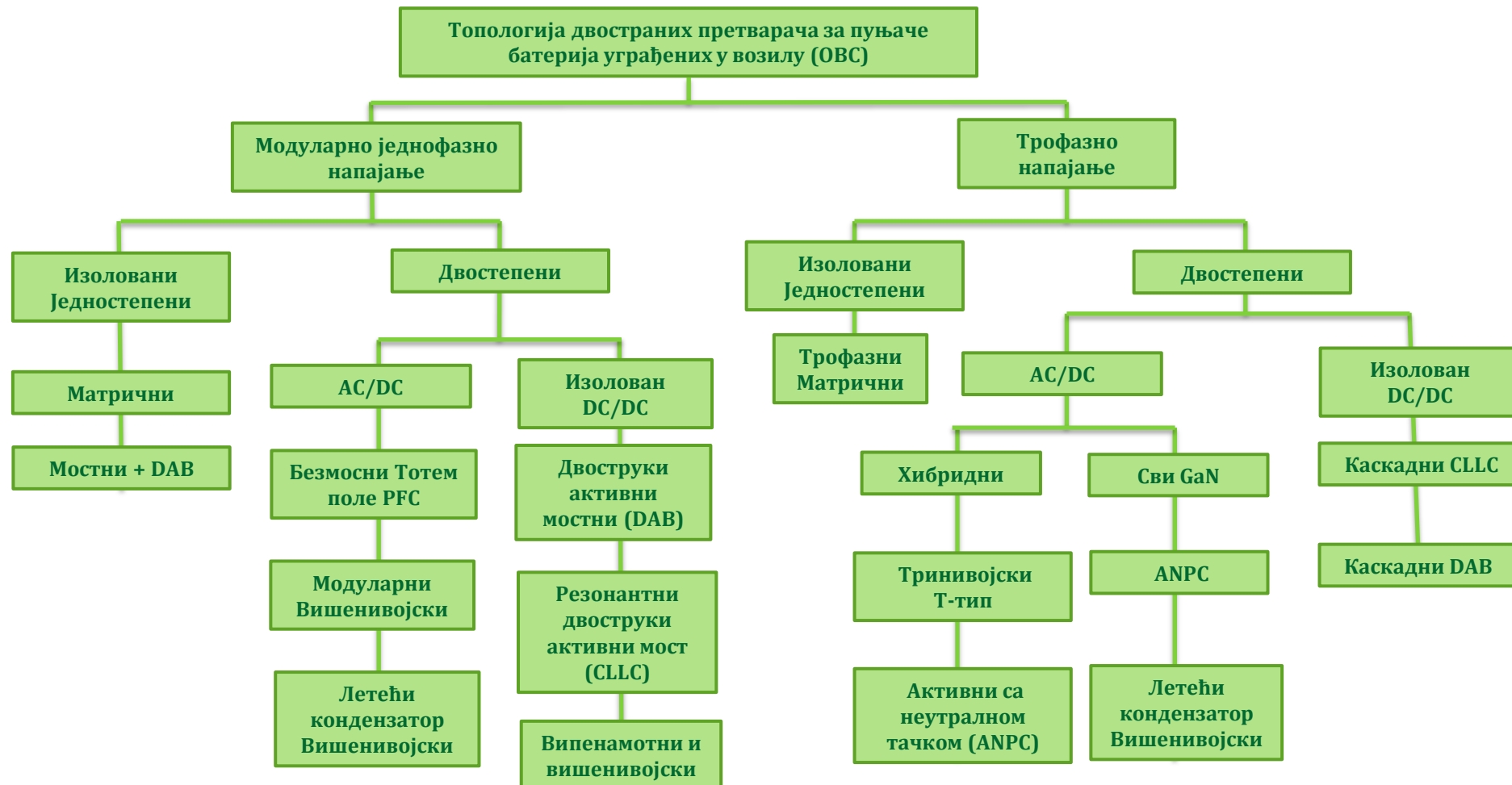
FACULTY OF  
TECHNICAL SCIENCES  
KOSOVSKA MITROVICA

University of Pristina  
Kosovska Mitrovica

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

### On-Board Battery Chargers - OBC







**PELMOB**



University of Pristina  
Kosovska Mitrovica

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

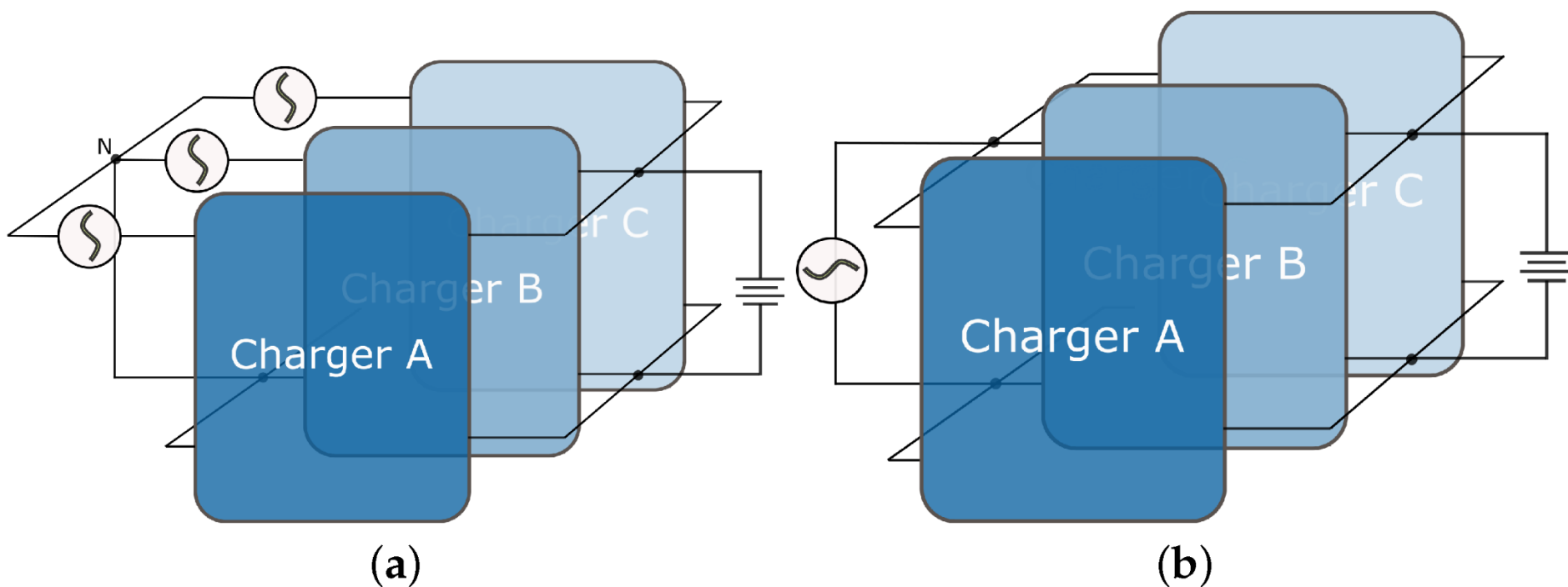


Funded by  
the European Union



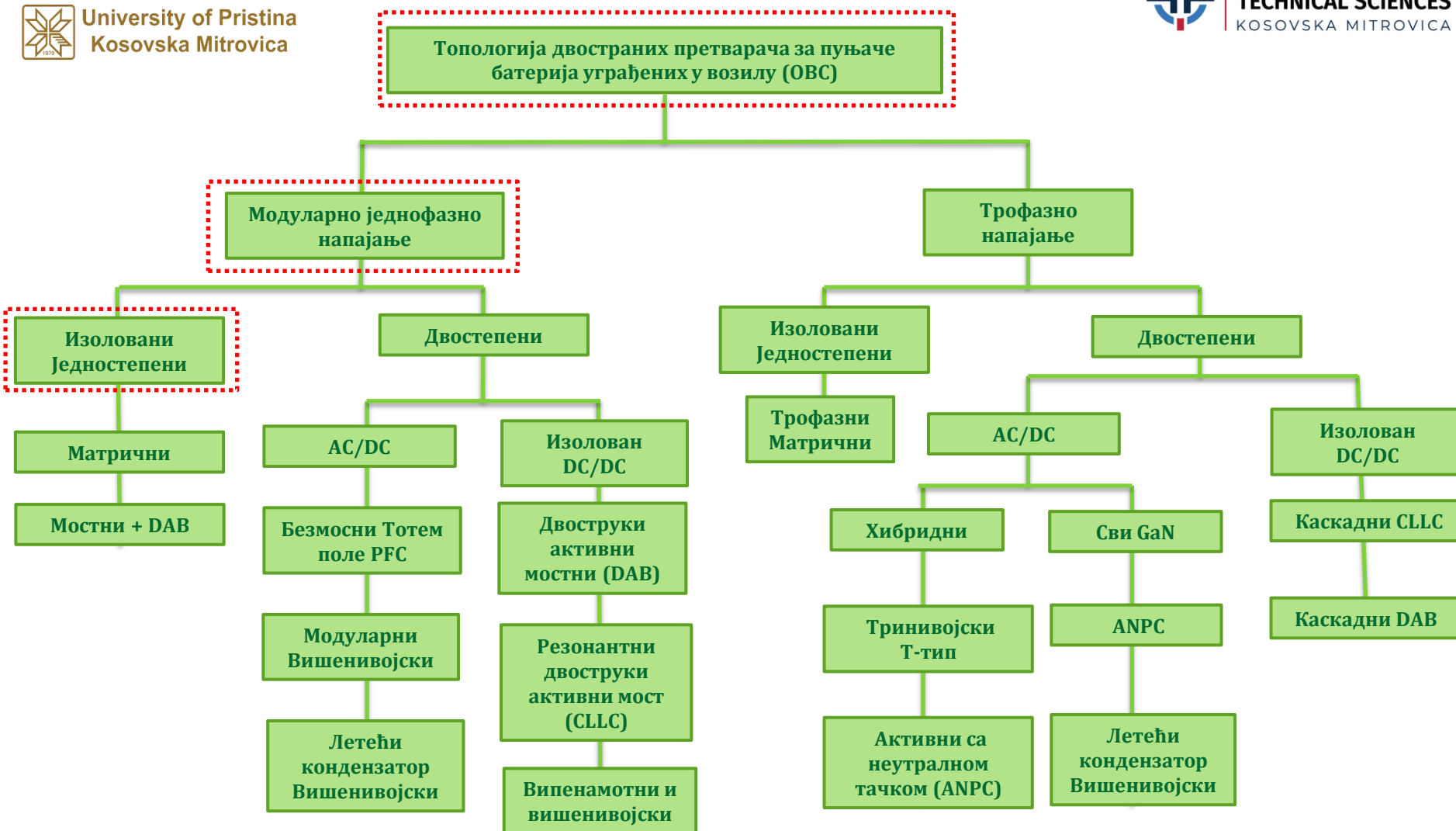
FACULTY OF  
TECHNICAL SCIENCES  
KOSOVSKA MITROVICA

## Модуларна фазна архитектура пуњача



**(a) Трофазна**

**(b) Једнофазна примена**





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



Funded by  
the European Union

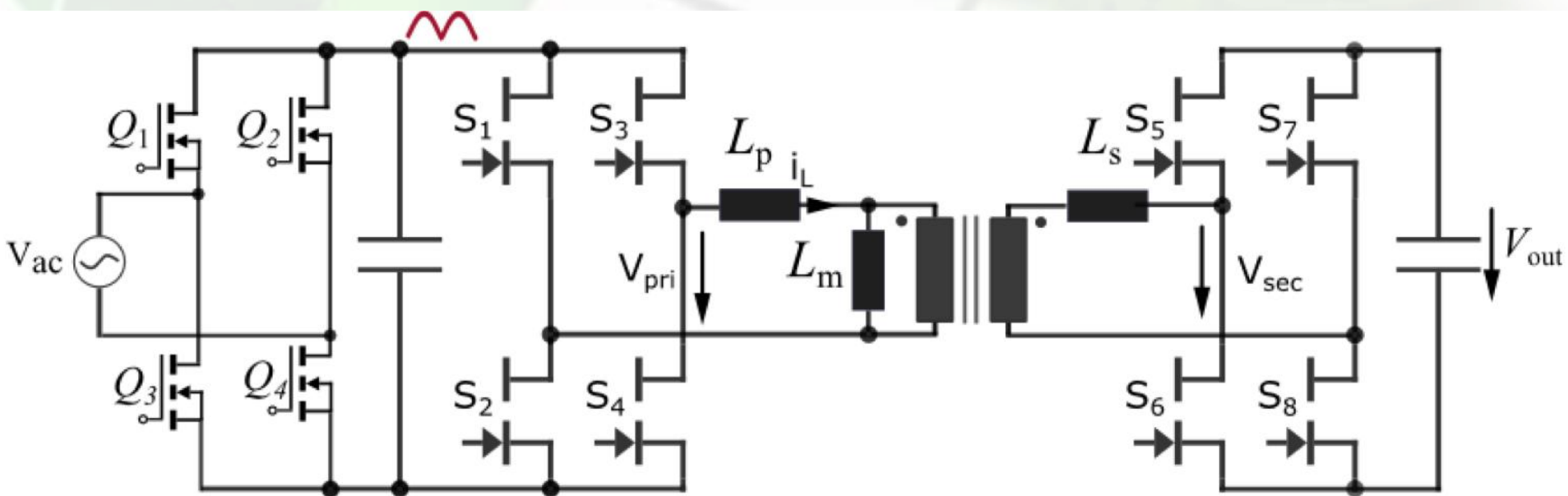


FACULTY OF  
TECHNICAL SCIENCES  
KOSOVSKA MITROVICA



University of Pristina  
Kosovska Mitrovica

## Једнофазни једноступени АС/ДС претварач- двоструки активни мост (DAB)





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



Funded by  
the European Union

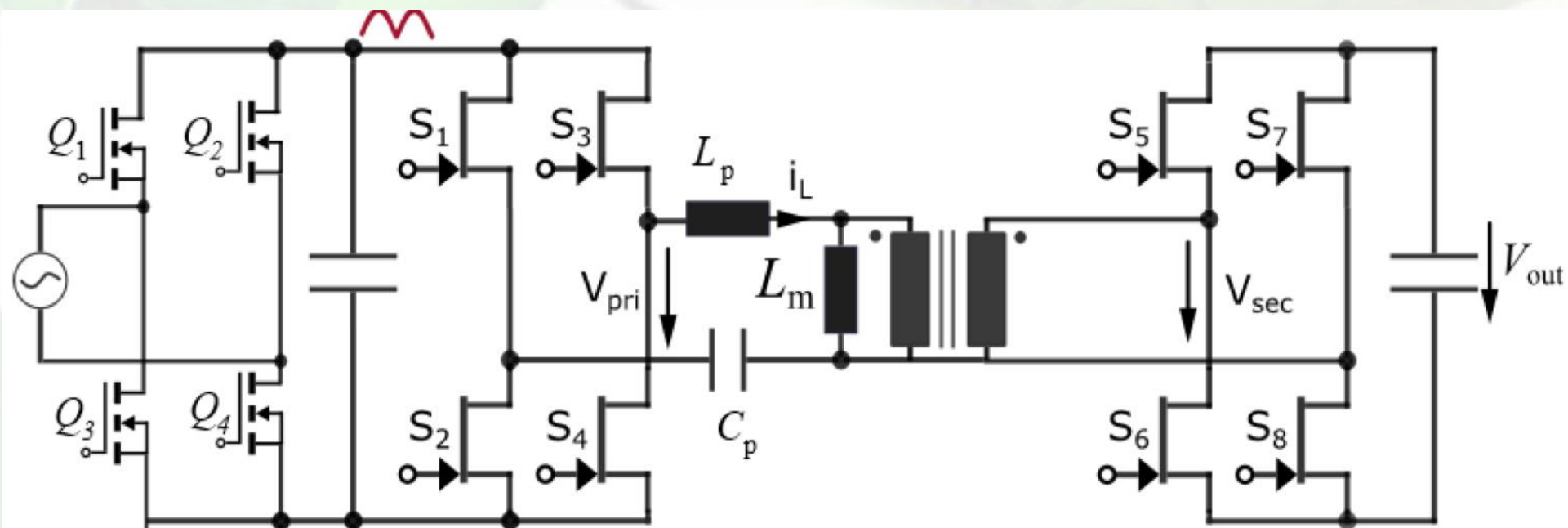


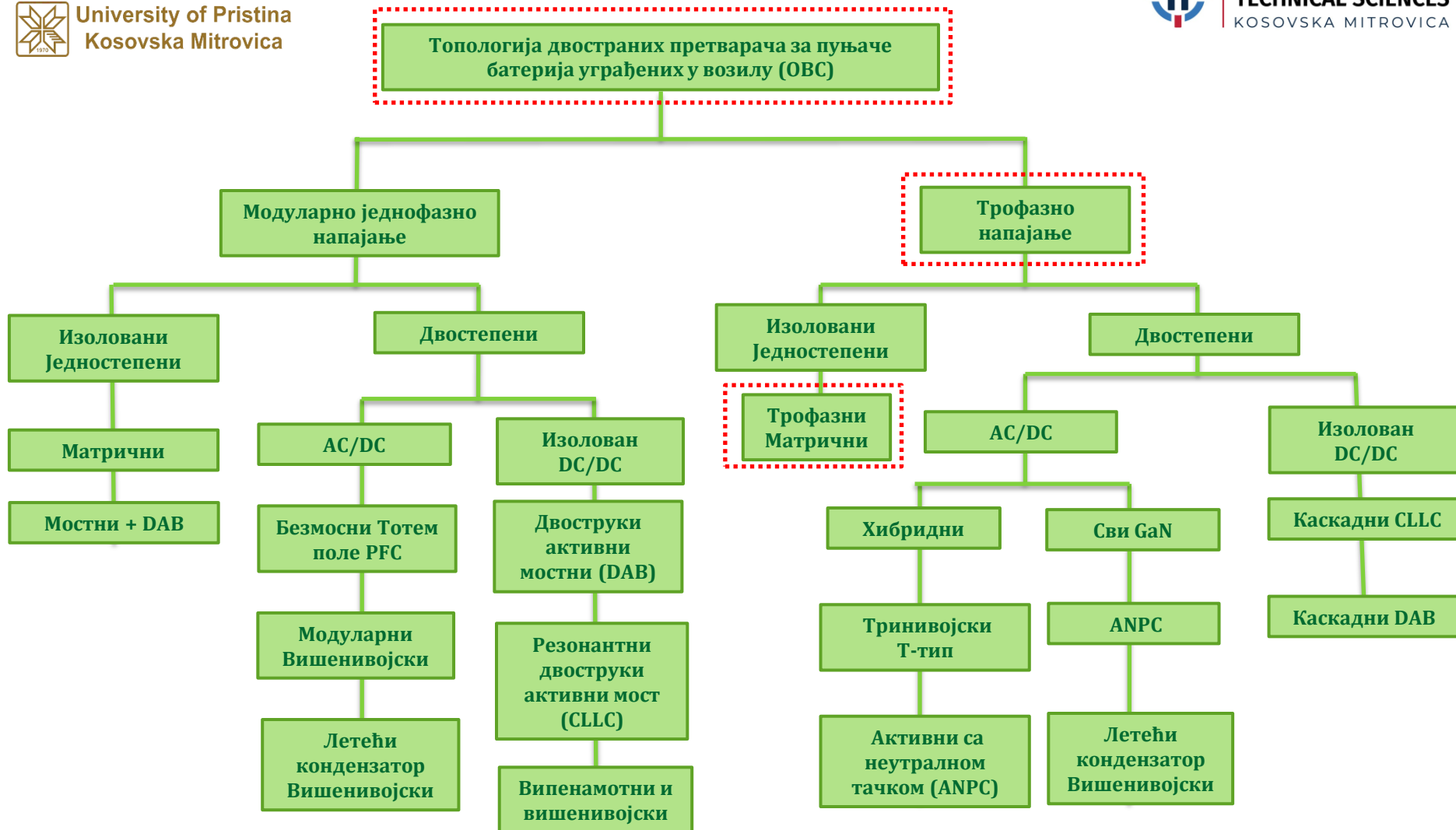
FACULTY OF  
TECHNICAL SCIENCES  
KOSOVSKA MITROVICA



University of Pristina  
Kosovska Mitrovica

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







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



Funded by  
the European Union



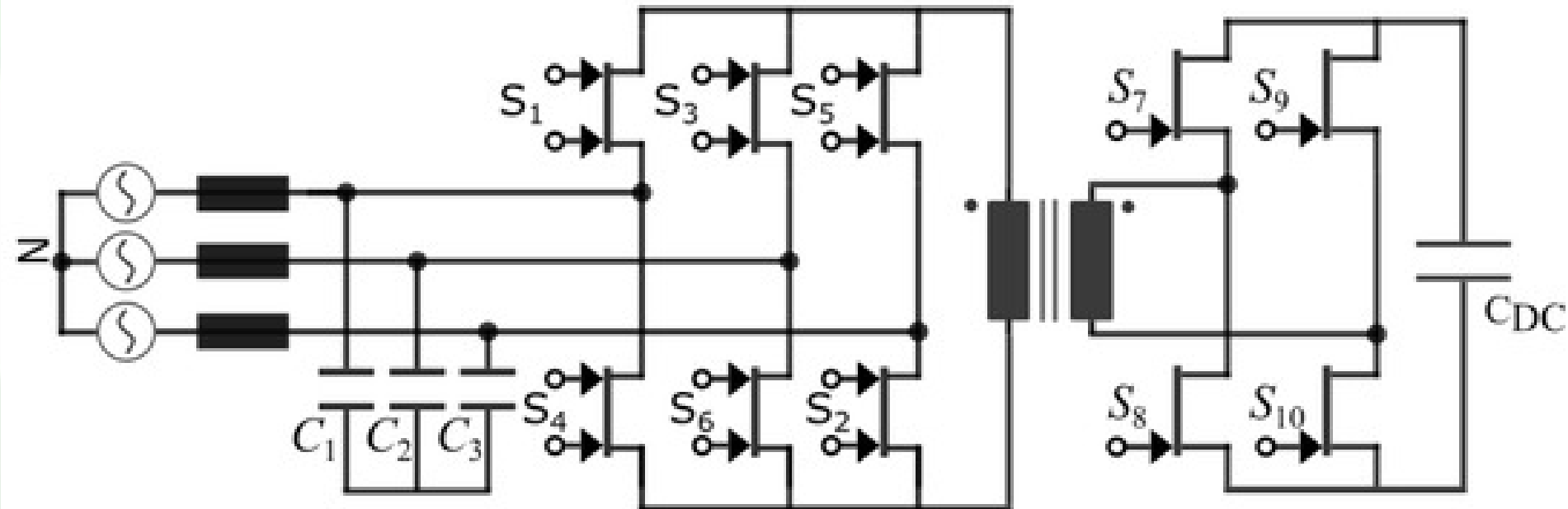
FACULTY OF  
TECHNICAL SCIENCES  
KOSOVSKA MITROVICA

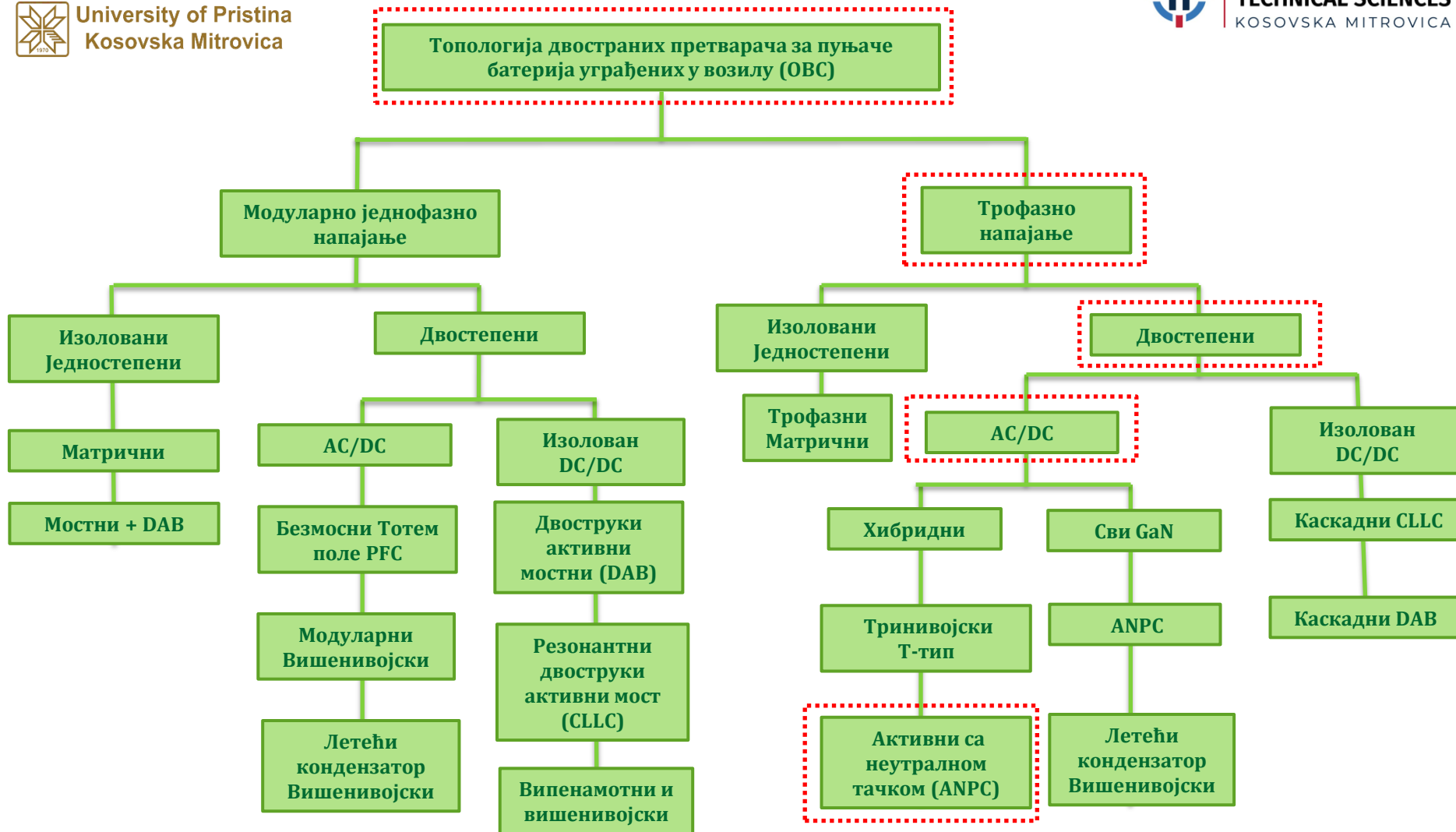


University of Pristina  
Kosovska Mitrovica

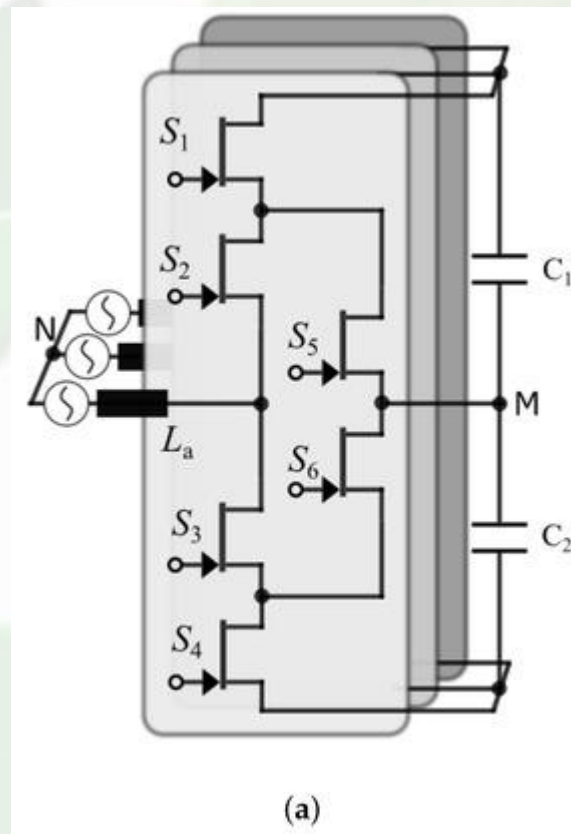
## Једностепени трофазни АС/DC претварач

## Трофазни двострани матрични АС/DC претварач



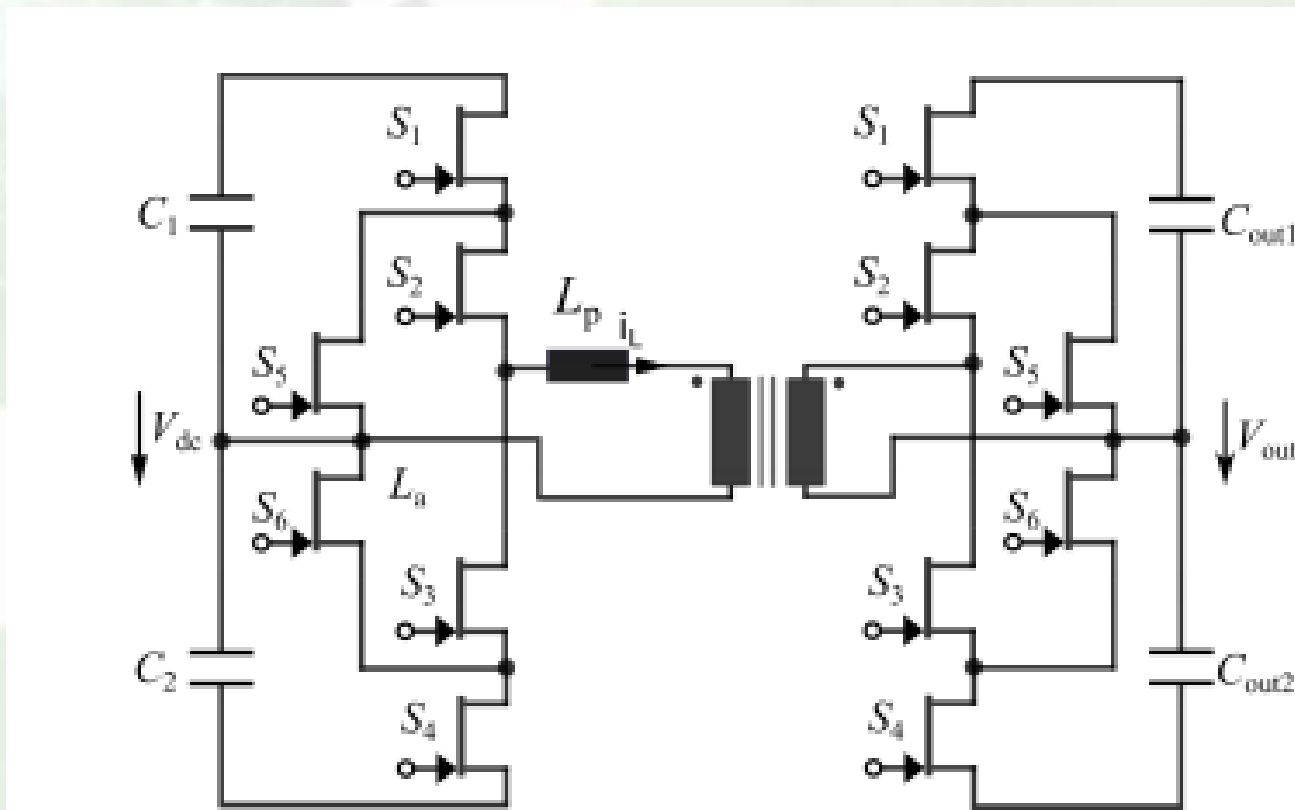


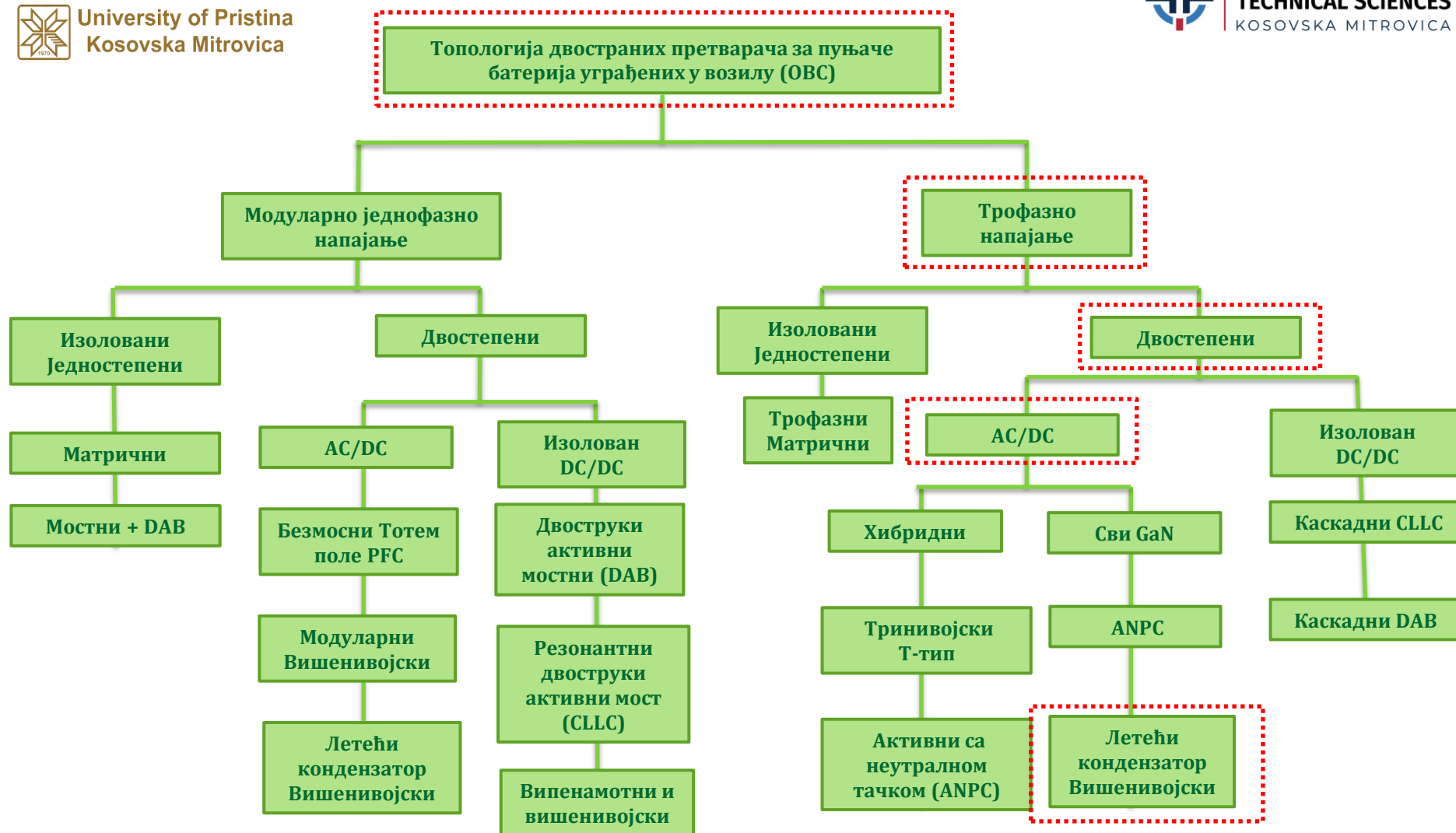
## Трофазни активни претварач за двостепене ОВС апликације



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

## Тренивосјки ANPC двоструки активни полумосни претварач







**PELMOB**



University of Pristina  
Kosovska Mitrovica

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

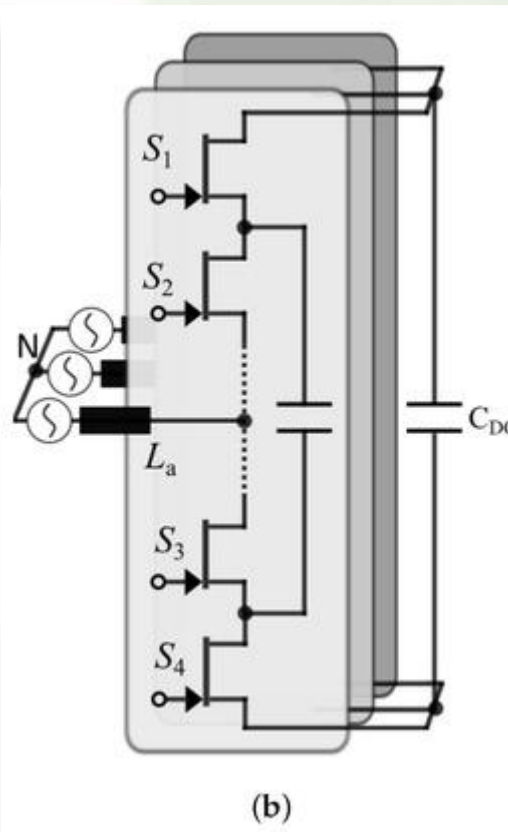


Funded by  
the European Union

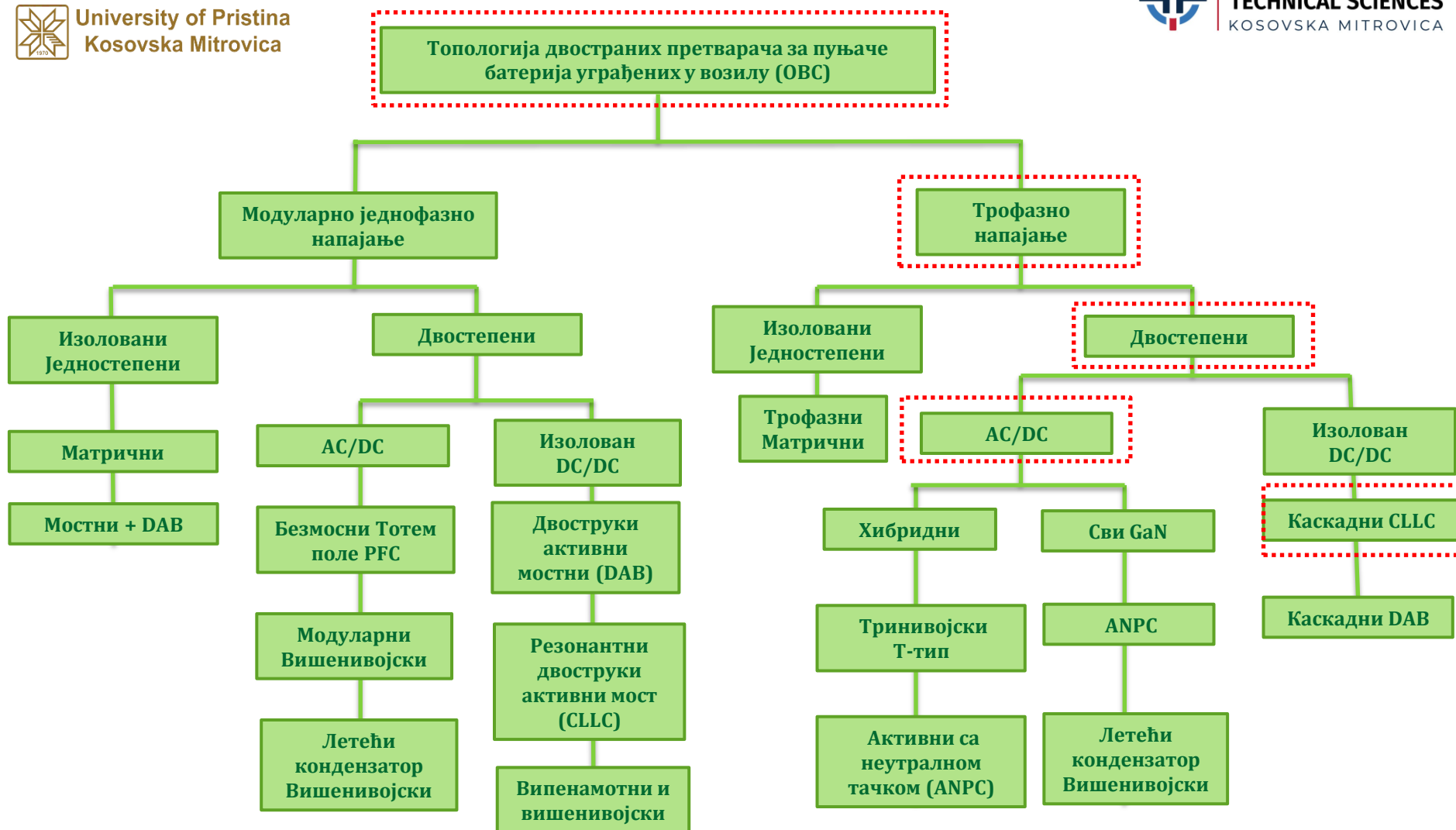


FACULTY OF  
TECHNICAL SCIENCES  
KOSOVSKA MITROVICA

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



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





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



Funded by  
the European Union

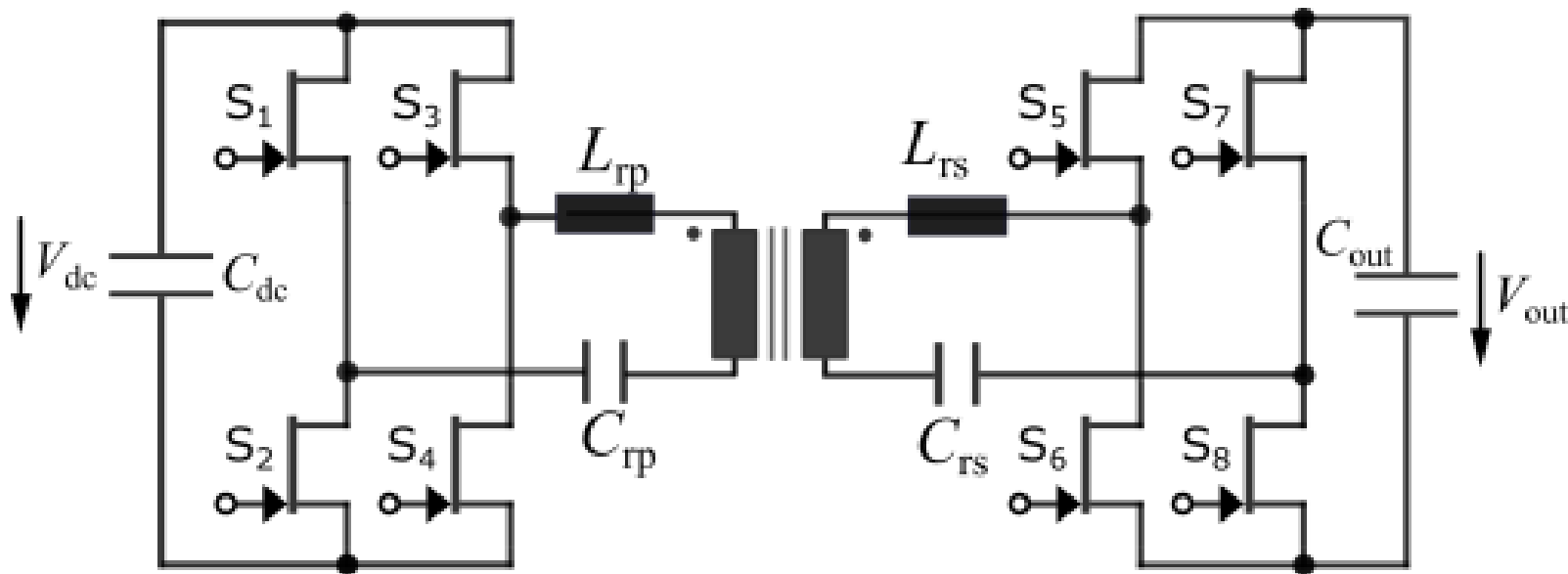


FACULTY OF  
TECHNICAL SCIENCES  
KOSOVSKA MITROVICA

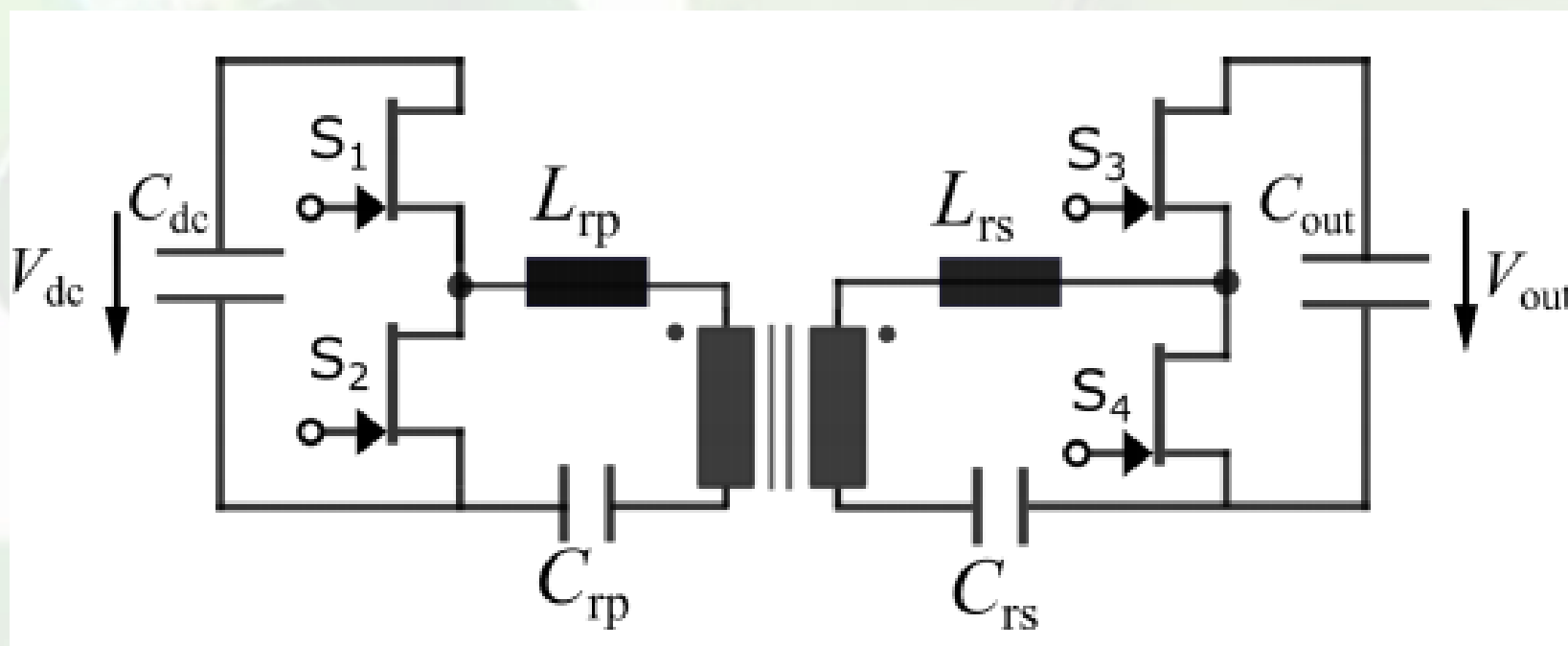


University of Pristina  
Kosovska Mitrovica

## Мостни резонантни CLLC DC-DC претварач



## 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

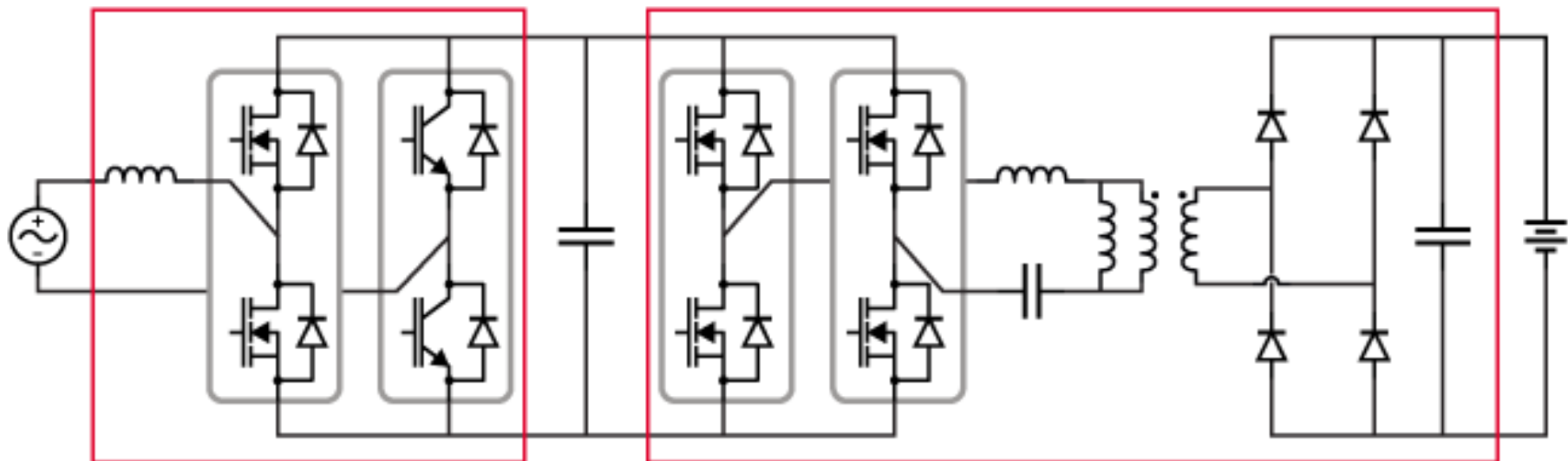


University of Pristina  
Kosovska Mitrovica

## Двостепени пуњач уграђен у возило - једнострани

Први степен

Други степен

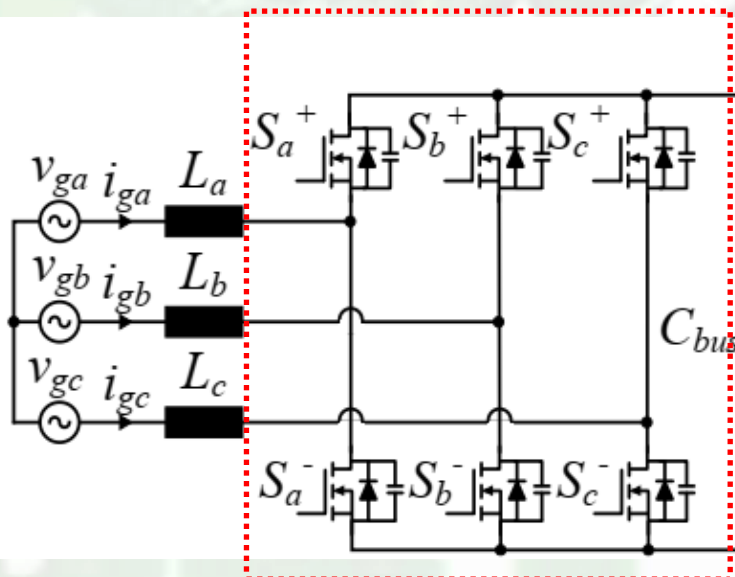


Тотем-пол исправљач PFC

Изоловани DC/DC претварач

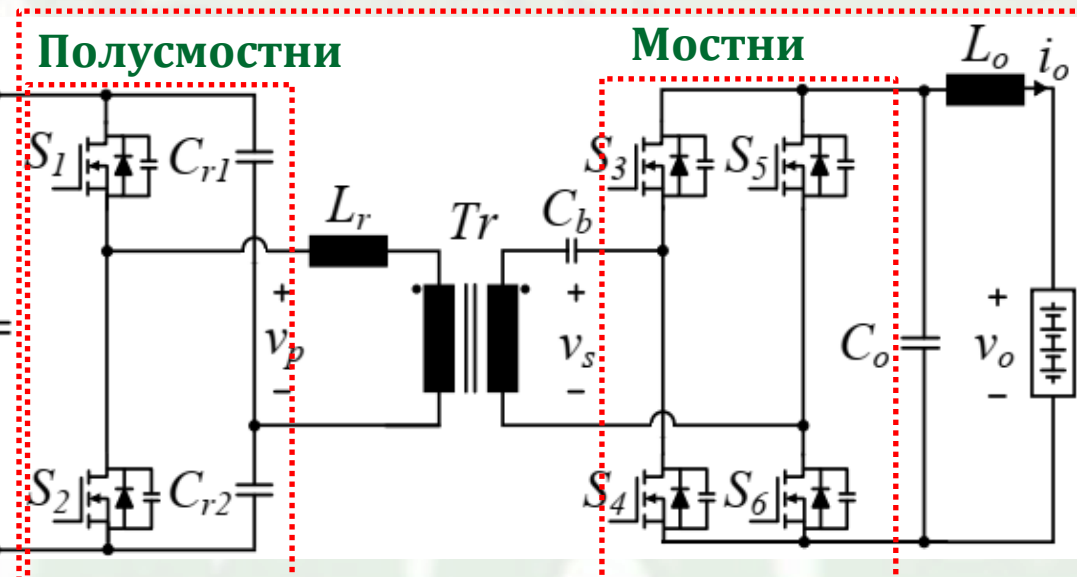
## Двостепени пуњач уграђен у возило

### Први степен



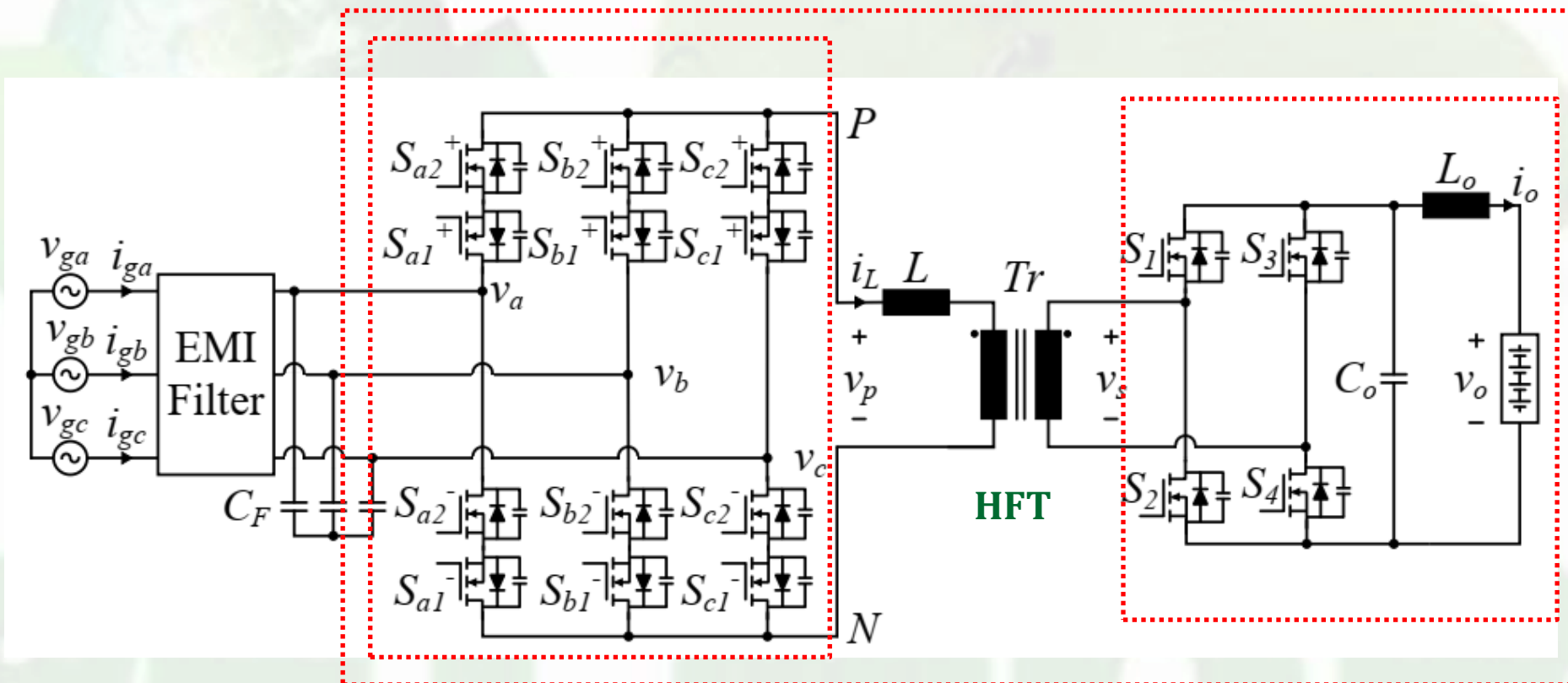
**Трофазни активни  
исправљач PFC**

### Други степен



**Иzolовани LLC резонантни DC/DC претварач**

## 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



Funded by the European Union



FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES  
KOSOVSKA MITROVICA



University of Pristina  
Kosovska Mitrovica

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

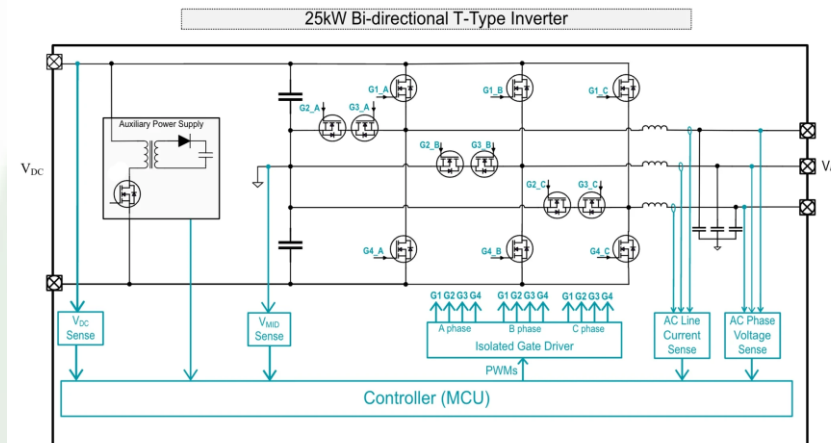
### AC/DC DC/AC Convertor

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



Funded by  
the European Union



FACULTY OF  
TECHNICAL SCIENCES  
KOSOVSKA MITROVICA

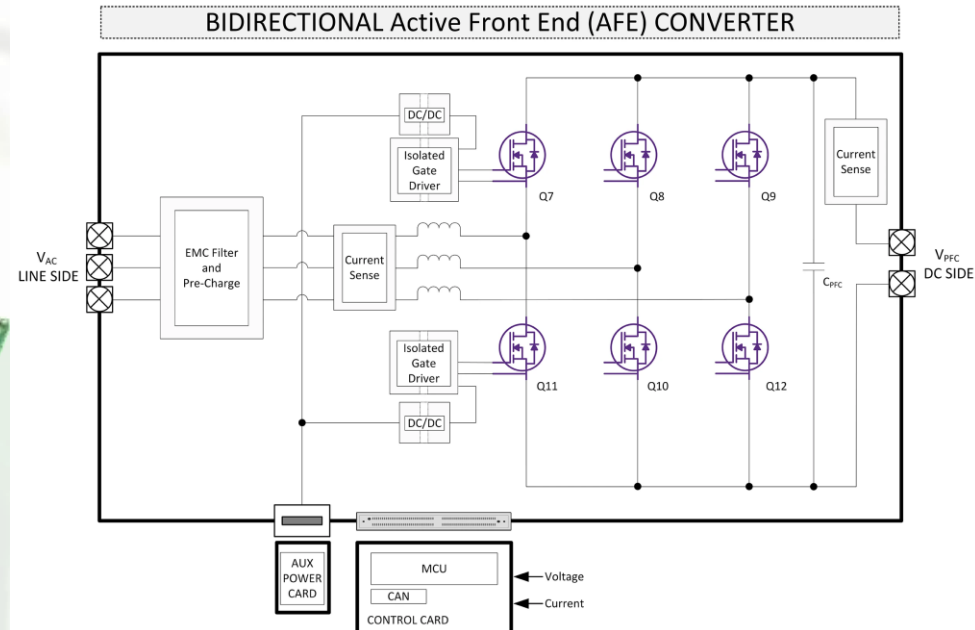


University of Pristina  
Kosovska Mitrovica

AC/DC  
DC/AC  
Convertor

## 22 kW Трофазни двострани активни исправљач

Употреба 1200V СЗМ™ 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



Funded by  
the European Union



FACULTY OF  
TECHNICAL SCIENCES  
KOSOVSKA MITROVICA



University of Pristina  
Kosovska Mitrovica

## 22 kW Трофазни двострани активни исправљач

### 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

## AC/DC DC/AC Convertor

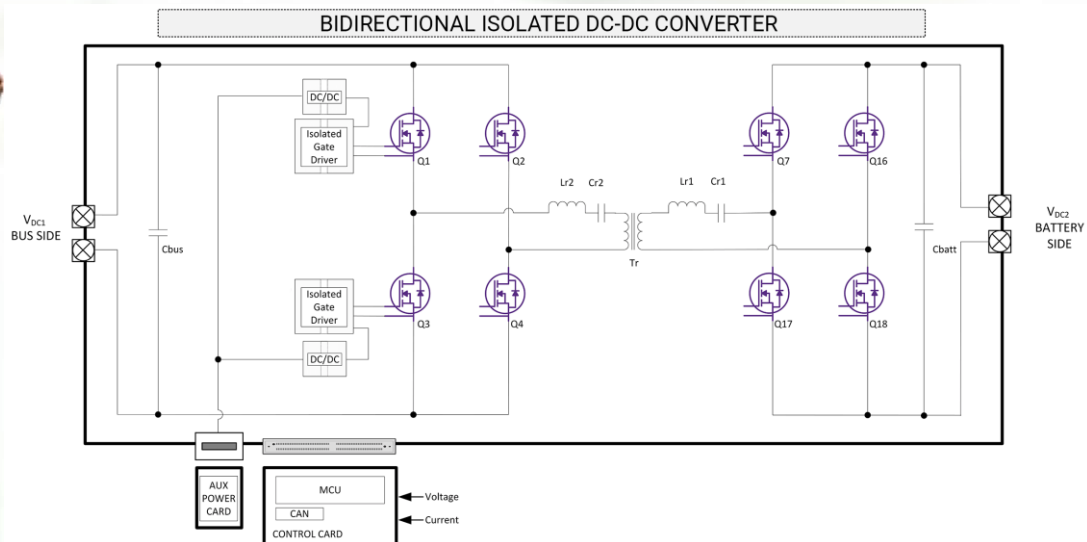
Густина снаге 4.6kW/L



## 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)."



## 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 DC При  $V_{in}=650V-900V$  DC; Излазна снага: 22kW; Излазна струја: 36A При  $V_{in}=380V-900V$  DC; Излазна снага: 6,6kW; Излазна струја: 26,4A

#### Режим пражњења

Излазни напон: Номинално 360V-750V DC Излазна снага: 6,6kW; Излазна струја: 19A LLC резонантни конвертор са пуним мостом који ради на 135-250kHz Опремљени хладњак за симулацију плоче за хлађење CAN интерфејс



**PELMOB**



University of Pristina  
Kosovska Mitrovica

# Двострани енергетски претвараачи 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 претвараач**



**AC/DC  
DC/AC  
Претвараач**

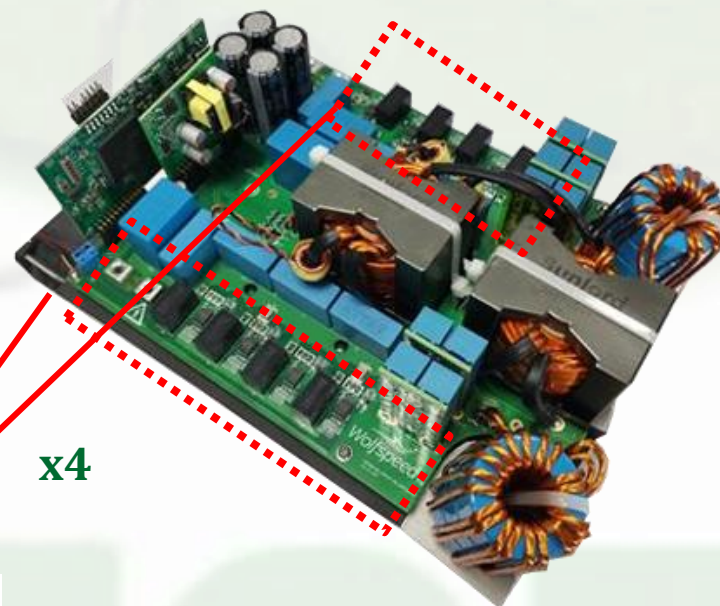
Густина снаге of 4.6kW/L

+

x4

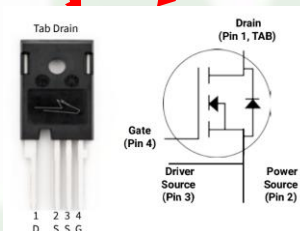
x4

x6



**DC/DC Претвараач**

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

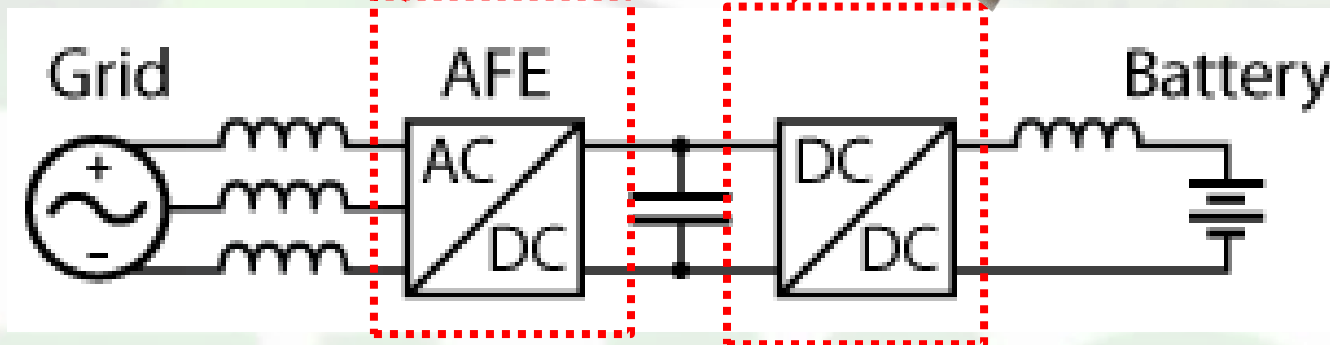
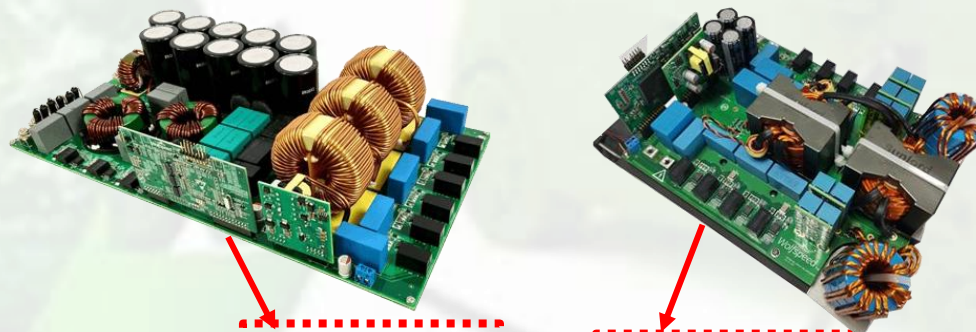


Funded by  
the European Union



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



Funded by the European Union

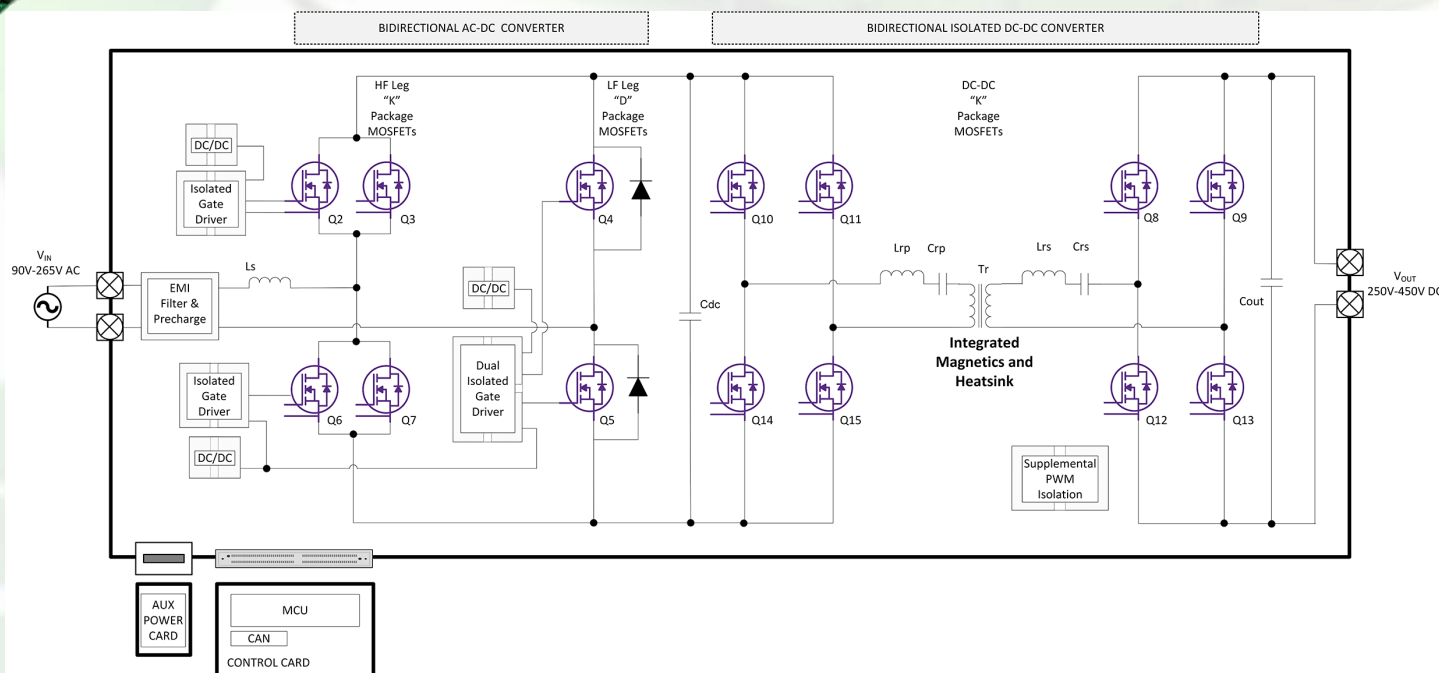


FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES KOSOVSKA MITROVICA

University of Pristina 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)





**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 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

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



Funded by  
the European Union



FACULTY OF  
TECHNICAL SCIENCES  
KOSOVSKA MITROVICA

### DC/DC Претвараач

#### Спецификације

Улазни напон: 380 – 600 V DC

Излазни напон: 280 – 450 V DC

Максимална снага: 6,6 kW

Максимална ефикасност: 98%

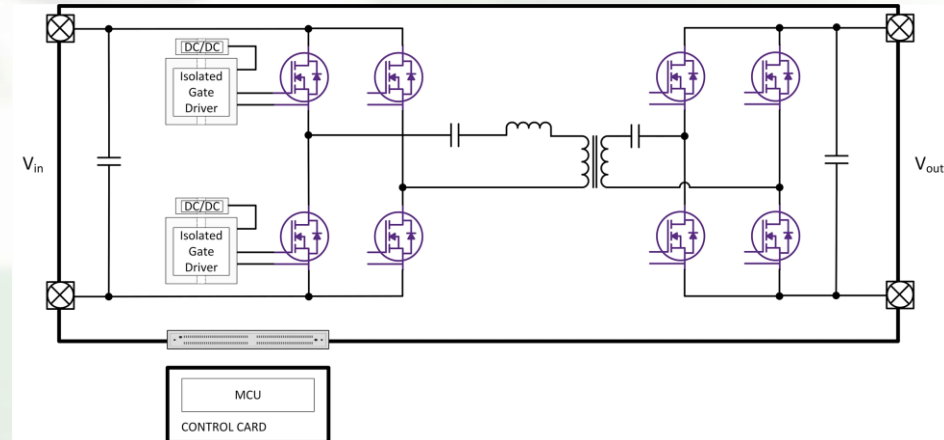


#### Примене

Уграђени пуњач

Брзо пуњење

Уграђени DC/DC конвертор





**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

## 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 m<sup>3</sup>).

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.



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



Funded by  
the European Union



University of Pristina  
Kosovska Mitrovica



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)	Иzolована, 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



University of Pristina  
Kosovska Mitrovica



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/ММС.
- ✓ 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).



**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

**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



University of Pristina  
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).



**PELMOB**



University of Pristina  
Kosovska Mitrovica

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



Funded by  
the European Union



FACULTY OF  
TECHNICAL SCIENCES  
KOSOVSKA MITROVICA

- 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 ( $\leq 7$  kW): Vienna Rectifier + LLC (исплативи избор).
- ✓ Средња снага (11–22 kW): Totempole PFC (SiC) + DAB (висока ефикасност, подршка за V2G).
- ✓ Висока снага ( $\geq 50$  kW): ANPC/ММС (800V+, ултра-брзо пуњење).



**PELMOB**



University of Pristina  
Kosovska Mitrovica

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

## Финална разматрања



Funded by  
the European Union



FACULTY OF  
TECHNICAL SCIENCES  
KOSOVSKA MITROVICA

### ➤ 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 корекција фактора снаге)

### ➤ Густина снаге:

- ✓ 4,6 kW/L (оствариво са SiC/GaN технологијама).



**PELMOB**



University of Pristina  
Kosovska Mitrovica

# 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%).



**PELMOB**



University of Pristina  
Kosovska Mitrovica

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

## ЗАКЉУЧАК



Funded by  
the European Union



FACULTY OF  
TECHNICAL SCIENCES  
KOSOVSKA MITROVICA

- 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.