

## ДИГИТАЛНО УПРАВЉАЊЕ ПРЕТВАРАЧИМА И ПОГОНИМА

- Школска 2025/2026 -

- Предавања - С.Н. Вукосавић (консултације - после часова предавања, [ddc@etf.rs](mailto:ddc@etf.rs))
- Рачунске вежбе - Александар Милић ([milic.aleksandar@etf.rs](mailto:milic.aleksandar@etf.rs)),
- Лаб. вежбе - 1 час недељно - Александар Милић

### Contents

|   |   |
|---|---|
| Сажетак у 200 речи .....  | 1 |
| Циљ: .....  | 2 |
| Предзнање:.....   | 2 |
| Материјали: .....   | 2 |
| Google Classroom, снимци претходних предавања: .....            | 3 |
| Садржај курса:.....   | 3 |
| Лабораторијске вежбе - 1 час недељно .....                      | 4 |
| Листа питања: .....   | 5 |
| Google Classroom тестови.....                                   | 5 |
| Испит:.....   | 5 |
| Литература:.....  | 6 |
| Материјали, аудио и видео снимци: .....                         | 7 |
| Правци истраживања после полагања испита из предмета ДПП1 ..... | 8 |

### Сажетак у 200 речи

ДПП1 дигитално управљање струјом, флуksom и моментом електричних машина ради њихове употребе као актуатора у системима за управљање кретањем (роботика, аутомати, одбрана..).

Циљ Стећи неопходна сазнања о објектима (машинама), давачима, проблемима мерења (ADC), актуаторима (PWM), као и вештине потребне за анализу, моделовање, пројектовање и параметрирање дигиталних алгоритама управљања, уз увод у адаптацију и примену АИ.

Метод Пратити предавања уживо или са видео записа. и рачунске вежбе (или да приложене задатке решите сами). Подробно проучити достављена поглавља из “Grid-side converters - control & design”. Пратити рачунске вежбе, самостално решавати достављене задатке и проблеме. Настојати да прилику коју пружају ЛАБ вежбе искористите за практичну проверу стеченог знања у реалном времену (довољно је знати програмски језик C).

Инфо Достављање материјала и емаил комуникација обавља се преко Google Classroom платформе.

Испит Начин полагања се утврђује у договору са студентима. По правилу, у јунском року се полаже усмено, док се у свим осталим роковима полаже писмено, осим у случају да већина студената која пријави испит достави другачији захтев. На оцену утиче и рад на ЛАБ вежбама, а постоји могућност да се, уз договор, уважи и решавање тестова на Google платформи.

## Циљ:

Предмети ДПП1 (19Е013ГДПП, 13Е013ГДПП, 19Е013ДПП, 13Е013ДПП) и ДПП2 (13М011ДПП2) пружају знања основна знања у области дигиталног управљања претварачима и погонима. Предмет ДПП1 пружа теоријска знања и вештине практичне имплементације управљања струјом, моментом и флуksom електричних серво мотора као и управљање радом генератора у савременим изворима електричне енергије. Предмет ДПП2 се бави управљањем кретањем и проучава регулацију брзине и позиције као и координисаног кретања у оквиру индустријских робота.

У оквиру предмета ДПП1 студенти стичу способност анализе и пројектовања система са дигиталном ширинском модулацијом и регулацијом струја, флукса и момента. Циљане вештине укључују пројектовање структуре и подешавања параметара регулације као и практична имплементација алгоритама управљања у реалном времену, што захтева познавање основних особина дискретизације по амплитуди и времену, елементарне вештине анализе система и синтезе управљања у  $z$ -домену као и основне информације о А/Д и PWM периферијским јединицама савремених дигиталних сигналних контролера.

## Предзнање:

Наставни метод и приступ је прилагођен предзнању које имају студенти ЕТФ који могу одабрати и уписати предмет ДПП1.

## Материјали:

Материјали потребни за праћење наставе, усвајање градива, рачунске и ЛАБ вежбе могу се наћи преко Google Classroom платформе (видети наредни пасус):

Дати су [слајдови који се користе на предавањима](#) у учионици, [материјали који сумирају неопходна предзнања](#) (моделовање електричних машина), [поглавља која уводе векторско управљање \(ВУ\)](#) и образлажу концепт векторског управљања, као и [поглавља на српском и енглеском језику](#) који излажу део градива везан за PWM, регулацију струје и синтезу регулатора у  $z$  домену.

У оквиру материјала дати су и [задаци за рачунске вежбе](#), [за самостални рад као](#) примери задатака са испита. Дато је и [упутство за лабораторијске вежбе](#), помоћне датотеке за ЛАБ вежбе, као и [листа теоријских питања](#) која могу бити постављена на испиту.

У оквиру *materijala.zip* постоји директоријум ([Matlab\\_primeri](#)) који које садржи опис, примере и одговарајуће моделе и програме чије коришћење помаже усвајање и разумевање градива и постепешује стицање вештина. У засебној датотеци ([Gclassroom\\_testovi.pdf](#)) наведени су циљеви и описана корист од периодичних *on-line* тестова Т1-Т10, тестова **ТК1-ТК2** који, на захтев студената, могу бити узети у обзир код формирања коначне оцене, као и неопходна упутства о поступцима и начин на који ће бити обрађивани резултати.

## Google Classroom, снимци претходних предавања:





Неопходни материјали достављају се преко GoogleClassroom система.

- Приступите свом Google налогу (ономе на коме имате gmail)
- Потражите апликацију Classroom (под Google apps)
- Горе, десно, симбол "+", Create or join class, одаберите join
- Унесите следећи "class code": [55rjz7q](#)

Дакле, неопходно је пријавити се на Google Classroom, код [55rjz7q](#).

Напомена: Емаил комуникација биће остваривана преко факултетских емаил адреса.

На Google Classroom можете наћи следеће ставке:

|   |                                       |                     |   |
|---|---------------------------------------|---------------------|---|
|    | Тестови за вежбање и тестови за оц... | Posted Jul 24, 2025 | ⋮ |
|    | Организација предмета                 | Posted Feb 27, 2022 | ⋮ |
|    | Снимци претходних предавања из Д...   | Posted Feb 27, 2022 | ⋮ |
| <a href="https://drive.google.com/drive/folders/1qCOPiPW2MGbxUHB82hiNCH2DJ_jyvKJd?usp=sharing">https://drive.google.com/drive/folders/1qCOPiPW2MGbxUHB82hiNCH2DJ_jyvKJd?usp=sharing</a> |                                       |                     |   |
| <a href="#">View material</a>   |                                       |                     |   |
|    | Сви материјали потребно за праће...   | Edited Feb 21, 2023 | ⋮ |

## Садржај курса:

### Први део:

*Рекапитулација:* Динамички модел електричних машина.

*Увод:* Електрични серво мотори у улози извршних органа система за управљање кретањем. Потребна тачност и брзина реаговања у успостављању момента и флукса. Особине серво мотора са машинама за једносмерну струју и серво мотора са машинама за наизменичну струју. Дигитално управљање струјом, моментом и флуksom серво мотора у улози извршног органа у систему за управљање кретањем.

*Управљање моментом и флуksom:* Управљање моментом и флуksom машина за наизменичну струју са давачем на вратилу. Принципи векторског управљања. Директно (ДВУ) и

индиректно (ИВУ) векторско управљање. Основе распрегнутог управљања моментом и флуksom АМ и СМ.

*Дигитална имплементација ИВУ:* Одређивање положаја роторског флуksа на основу сигнала струје и давача на вратилу. Параметарска осетљивост и експлоатационе карактеристике погона са ИВУ.

*Дигитална имплементација ДВУ:* Одређивање положаја роторског флуksа на основу сигнала напона и струја статора. Параметарска осетљивост и експлоатационе карактеристике погона са ДВУ. Утицај нелинеарности 3-ф транзисторског инвертора.

#### Други део:

*Рекапитулација:* Трофазни транзисторски инвертор

*Потреба за управљање струјом:* Основни принципи дигиталног управљање струјом. Трофазни транзисторски инвертор као актуатор напона. Дигитални ширински модулатор. DSP-имплементација прекидачког алгорита за управљање напоном. Проблеми одабирања и реконструкције сигнала струје. Карактеристични давачи струје. Проблеми пројектовања филтра пред А/Д периферијским уређајем. Шум квантизације. Дигитална филтрација и *oversampling*. Регулатор струје у dq-систему.

*Распрезање одзива у ортогоналним осама:* Синтеза структуре распрегнутог дигиталног регулатора струје. Примена IMP концепта. Одређивање параметара регулације. Проблеми у раду дигиталног регулатора струје у зони слабљења поља. Карактеристични периферијски уређаји и програмска решења регулатора струје.

*Управљање серво моторима без давача на вратилу:* Естимација брзине обртања, момента и флуksа. Управљање АМ и СМ без давача на вратилу. Могућности за оцену положаја и/или брзине на основу жлебних хармоника, просторних хармоника поља и магнетског засићења. Практични аспекти реконструкције сигнала који се не могу мерити. Коришћење ДСП у сврху надзора и дијагностике. Практични аспекти и проблеми ДСП имплементације алгоритама за идентификацију динамичких система и алгоритама за оцену спектра. Структура, периферијски уређаји, програмирање, капацитет и брзина рада савремених ДСП.

## Лабораторијске вежбе - 1 час недељно

У оквиру предмета предвиђено је 14 часова рада у лабораторији. Пре лаб вежби потребно је детаљно прочитати упутства и сагледати њихову сврху и циљана знања. У случају да је студент спречен из одређених разлога да присуствује раду у лабораторији неопходно је да унапред обавести асистента о томе као и да евентуално предложи начин за надокнаду пропуштеног термина. Лабораторијске вежбе представљају услов за излазак на испит и учествују са 30% у коначној оцени, доносећи **0-30 LABPOINTS**. Програм вежбања у лабораторији садржи **двe** вежбе:

- Вежба 1, "Темпус", део 1/2, упознавање са GUI, уносом параметара, мерењем струје, дигитална регулација струје
- Вежба 2, "Темпус", део 2/2, упознавање са GUI, векторско управљање, осетљивост, дигитална регулација брзине

Детаље и обавештења везана за лабораторијске вежбе даје асистент током првих часова наставе као и електронском поштом. Одговарајући видео снимак можете наћи на <http://ddc.etf.rs/tempus.wmv>

## Листа питања:

Листа теоријских питања представља користан подсетник и садржи питања која се могу појавити током писменог испита. Буде ли потребе да се студентима да одговор на достављену листу теоријских питања, биће организовани додатни часови консултација.

## Google Classroom тестови

У засебној датотеци ([Gclassroom\\_testovi.pdf](#)) наведени су циљеви и описана корист од периодичних *on-line* тестова T1-T10, тестова **TK1-TK2** који, на захтев студената, могу бити оцењивани, неопходна упутства о поступцима и начин на који ће бити обрађивани резултати. Тестови TK1-TK2 се могу организовати после окончане наставе а пре писменог испита. Нити један од поменутих тестова није обавезан, а тестови TK1-TK2 могу бити вид оцењивања једино у случају да се током прве недеље предавања постигне такав договор са студентима који прате предавања.

## Испит:

Начин полагања се утврђује у договору са студентима. По правилу, у јунском року се полаже усмено, док се у свим осталим роковима полаже писмено, осим у случају да већина студената која пријави испит достави другачији захтев. На оцену утиче и рад на ЛАБ вежбама, а постоји могућност да се, уз договор, уважи и решавање тестова на Google платформи.

У свакој варијанти, 30% утицаја на коначну оцену имају ЛАБ вежбе.

По правилу, јунски рок се организује као усмени, и по правилу има 70% утицаја на коначну оцену. Код усменог испитивања у сали,

- Кандидат чека да буде прозван(а), уз што мању ларму да не би ометао друге који одговарају, уз договор са колегама који ће бринути о његовим стварима, књигама, мобилном телефону итд. током испитивања.
- Када буде прозван, кандидат узима припремљених неколико листова чистог папира и оловке, долази до наставника где добија питања и седе у прве редове предвиђене за испитанике који спремају одговор. Поред папира и оловке, може понети флашу воде и дигитрон, мада су питања таква да дигитрон није неопходан. На полеђину листића са питањем који је добио, кандидат уписује своје име, презиме и број индекса. Текст питања преписује и на листове чистог папира, јер га мора прочитати када изађе на таблу.
- Кандидат има 30 минута за припрему одговора. Папир на коме припрема одговор може слободно користити док буде пред таблом. За свако питање кандидат припрема и даје усмено излагање. Уколико сматра да је то потребно, може користити креду и таблу и дати излагање на основу припремљеног концепта. У зависности од броја питања и врсте питања, излагање не може трајати дуже од 4-8 минута, о чему ће испитивач обавестити све кандидате на самом почетку испита. Кандидат мора планирати своје време, мора водити рачуна приликом одлучивања хоће ли на табли записати подробно извођење или само полазне претпоставке, кључне одлуке и исходе, итд.
- Када буде позван на Таблу, кандидат узима све своје ствари са места где је седео, предаје цедуљу са питањима наставнику и излази на таблу, држећи у руци остатак својих папира. Прва ствар коју чини је читање постављених питања како бих их сви чули. Потом се покреће мерење времена.
- Кандидат може сам мерити време или се може ослонити на испитивача, који ће користити свима видљив показивач.
- Током излагања кандидат неће бити прекидан потпитањима, без обзира на садржај и исправност његових одговора. Ток и садржај излагања и записа на табли одређује кандидат на начин који сматра примереним, имајући увек у виду да је предвиђено ограничено време. Уколико истекне предвиђено време, даље излагање се прекида, уз могућност давања још једне краће реченице и уношења кратког записа на таблу.
- По истеку времена (или по окончању излагања), кандидат брише таблу и одлази у публику.
- Предмет усменог испитивања је целокупно градиво, као и питања, задаци и проблеми које је кандидат имао током претходних фаза испитивања. Уколико се утврди да студент током усменог испита покаже да не влада знањем у областима које би, на основу успеха током предиспитног испитивања, морао познавати, могуће је одговарајуће

смањење раније добијеног броја поена. Уколико се утврди да студент током усменог испита покаже да влада знањем значајно већим од онога које је показао током предиспитног испитивања, могуће је одговарајуће увећање броја поена.

- Сви исходи се саопштавају и образлажу студентима по окончаном испитивању свих кандидата, дакле, на крају дана.
- По правилу, усмени испит у јунском року организује се у већој сали, из присуство свих кандидата који су позвани да сагледају и прате ток испитивања и исходе оцењивања. Једнако настојање постојаће у свим роковима где постоји број кандидата који оправдава описани начин извођења усменог испита. У другим испитним роковима, наставник може поступити другачије, а у случају где је то оправдано, усмено испитивање може бити спроведено скупа са увидом у вежбанке.

У свим другим испитима осим јунског, испит се по правилу организује писмено.

На писменом делу испита студенти решавају два задатка и дају одговор на два теоријска питања. Задаци се граде на темељу рачунских вежби, док се теоријска питања граде на основу тестова Т1-Т10 и на бази приложене листе теоријских питања. Увид у вежбанке и неопходна објашњења везана за решавање задатака могу се добити у терминима за консултације или у договору са предметним асистентима.

Уз договор са студентима, могу се организовати и Google тестови 1 и 2, и тада се удео писменог или усменог у коначној оцени смањује са 70% на нижи проценат.

**Напомена:** Уколико студенти закључе да постоји одступање између оцене и знања, потребно је да се јаве и наставнику и асистенту електронском поштом у року од 24 часа од пристизања обавештења или од уноса оцена у Евидес (шта год да се прво догоди), ради организовања додатног испитивања током кога ће се проценити знање и утврдити постоји ли потреба да се оцена промени. Једнаку могућност из истих разлога имају и испитивачи.

Студентима који се не јаве у року од 24 часа биће потврђене/закључане оцене већ унете у Евидес. По окончању додатног испитивања, а уколико дође до измена у оценама, наставник уноси измене у систем ЕВИДЕС.

## Литература:

1. Slobodan N. Vukosavić, „Grid-Side Converters Control and Design“, Springer, New York 10013, USA, 2018, ISBN 978-3-319-73277-0, 266 pages.
2. Slobodan N. Vukosavić, „Digital Control of Electrical Drives“, Springer, New York 10013, USA, 2007., ISBN 978 0-387-25985-7, Library of Congress 2006935130, 352 pages.
3. С. Н. Вукосавић, *Дигитално управљање електричним погонима*, Београд, Србија: Академска мисао, Београд, 2003, ISBN: 86-7466-113-0 (монографија од 390 штампаних страна је доступна и у електронској форми на адреси [ddc.etf.rs/lib\\_scuro.pdf](http://ddc.etf.rs/lib_scuro.pdf)).

Књигу на српском можете наћи у оквиру *Материјала*. Књиге на енглеском треба тражити у PDF верзији, можете је наћи на интернету или код млађих колега.

У одељку „литература“ архиве „Материјали“ можете наћи фолдер „Напредна поглавља и правци истраживања“ где можете наћи одговарајуће текстове.

\* \* \*

## Материјали, аудио и видео снимци:

### 1) Ауторска и власничка права

- Предавања, рачунске вежбе, лабораторијске вежбе и други писани, електронски или другачији материјали намењени су студентима који прате наставу из предмета и представљају ауторско дело наставника.
- Материјали су настали на Електротехничком факултету у Београду (ЕТФ) и начинили су их наставници обављајући послове дате у опису радних обавеза сваког наставника ЕТФ.
- Власничка права над свим материјалима има ЕТФ.

### 2) Дозвољена употреба материјала

- Сваки од студената који прати наставу на предмету може чувати предметне материјале и снимке у сопственој архиви без ограничења, под условом да их користити искључиво за личне потребе.
- Студенти који прате наставу из предмета могу користити све достављене, копиране или снимљене материјале за потребе савладавања градива, припреме за рад у лабораторији, обнављање знања и припреме за испит.
- Студент који прати наставу из предмета може размењивати предметне материјале са другим студентом који прати наставу из предмета.
- У случајевима где се настава одвија на даљину, коришћењем интернета, студенти који прате наставу могу користити програмске алате какав је *Open Broadcaster Software* или сличне како би за сопствене потребе начинили аудио или видео запис наставне јединице коју желе слушати и доцније, *off-line*. Овако настали снимци представљају део предметних материјала и снимака, они представљају ауторско дело наставника и власништво су ЕТФ.
- У случајевима где се настава одвија уживо пре снимања је неопходно прибавити сагласност присутног наставника.

### 3) Недозвољена употреба материјала

- Предметне материјале, аудио снимке и видео записе није дозвољено користити за потребе које нису наведене у делу *Дозвољена употреба материјала*.
- Забрањено је уносити измене у предметне материјале, издвајати поједине садржаје или инсерте, комбиновати секвенце или мењати садржаје на било који начин.
- Није дозвољено достављање предметних материјала или аудио/видео снимака студентима или другим потенцијалним корисницима којима поменути материјали и снимци нису намењени.
- Приликом размене материјала и снимака са другим студентима који прате наставу на предмету треба предузети разумне мере како не би дошло до недозвољене употребе материјала и снимака. Као пример, материјали се не могу размењивати на начин који их чини доступним корисницима којима они нису намењени.
- Поступци који нису наведени у листи *Дозвољена употреба материјала* као и поступци који јесу наведени у листи *Недозвољена употреба материјала* представљају кршење ауторских и власничких права.

## Правци истраживања после полагања испита из предмета ДПП1

Правци истраживања <http://vukosavic.etf.rs/istrazivanje teme ideje.htm>

Енергетска електроника у електричним мрежама

<https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-73278-7#aboutAuthors>

Библиографија предавача, биографија предавача, пројекти

<http://vukosavic.etf.rs/paperext.pdf>

[http://vukosavic.etf.rs/Biografija\\_Vukosavic\\_1000\\_Srpski.pdf](http://vukosavic.etf.rs/Biografija_Vukosavic_1000_Srpski.pdf)

<http://vukosavic.etf.rs/projekti.pdf>

Значајну помоћ у одређивању правца истраживања може дати Aptitude test:

[https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSd8TzNLvn5w2bVkmB2PAAQpdOqsGU5tDYWmXczqD\\_4iLE\\_I-A/viewform?usp=sf\\_link](https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSd8TzNLvn5w2bVkmB2PAAQpdOqsGU5tDYWmXczqD_4iLE_I-A/viewform?usp=sf_link)