



Univerzitet u Nišu  
Mašinski fakultet

Miloš Milošević  
Ljubiša Tjupa

# KOMPONENTE MEHATRONIČKIH SISTEMA KOD VOZILA



Niš, 2017.

Univerzitet u Nišu  
Mašinski fakultet

Miloš Milošević  
Ljubiša Tjupa

# **KOMPONENTE MEHATRONIČKIH SISTEMA KOD VOZILA**

Niš, 2017.

dr Miloš Milošević, vanredni profesor Mašinskog fakulteta u Nišu  
Ljubiša Tjupa, dipl. inž. elektrotehnike, ETŠ Mija Stanimirović Niš

# KOMPONENTE MEHATRONIČKIH SISTEMA KOD VOZILA

## *Recenzenti*

dr Tomislav Petrović, redovni profesor Mašinskog fakulteta u Nišu  
dr Goran S. Đorđević, redovni profesor Elektronskog fakulteta u Nišu

## *Izdavač*

Mašinski fakultet u Nišu  
Niš, Aleksandra Medvedeva 14

## *Za izdavača*

prof. dr Nenad T. Pavlović,  
dekan Mašinskog fakulteta u Nišu

## *Izdavač*

Mašinski fakultet u Nišu  
Niš, Aleksandra Medvedeva 14

## *Tiraž*

200 primeraka

## *Štampa*

SD Press, Smederevo

ISBN



9 788660 550905

CIP - Katalogizacija u publikaciji  
Narodna biblioteka Srbije, Beograd

629.3.05/.06(075.8)  
629.3:007.52(075.8)  
629.3:681.5(075.8)

МИЛОШЕВИЋ, Милош, 1969-  
Komponente mehatroničkih sistema kod vozila /  
Miloš Milošević, Ljubiša Tjupa. - Niš : Mašinski  
fakultet, 2017 (Smederevo : SD Press). - 309 str. :  
ilustr. ; 24 cm  
Na vrhu nasl. str.: Univerzitet u Nišu. - Tiraž 200. -  
Bibliografija: 308-309.

ISBN 978-86-6055-090-5

1. Tjupa, Љубиша, 1966- [аутор]  
а) Моторна возила - Мехатроника  
б) Моторна возила - Аутоматско управљање

COBISS.SR-ID 248993036

Odlukom Nastavno-naučnog veća Mašinskog fakulteta u Nišu, broj: 612-310-3-1/2017 od  
09.06.2017. godine, rukopis je odobren za štampu kao univerzitetski udžbenik.

## Predgovor

U jednom razdoblju razvoja tehničkih sistema došlo je do kombinacije mehaničkih i elektronskih komponenti, što je uslovalo početak razvoja mehatronike kao novog pristupa u inženjerskom projektovanju. Međutim, kako su tehnički sistemi postajali sve složeniji, početna struktura je proširena pa je mehatronika obuhvatila više tehničkih oblasti. Tako, savremena mehatronika predstavlja multidisciplinarno polje nauke koje podrazumeva sinergijsku integraciju mašinstva, elektronike i upravljanja primenom savremenih informacionih i komunikacionih tehnologija sa ciljem projektovanja i realizacije optimalnih sistema sa inteligentnim upravljanjem. Uz stalno prisutan tehnološki napredak i društveni razvoj, sve više oblasti, i to ne samo tehničkih, biva obuhvaćeno mehatroničkom metodologijom.

Postoje mnogobrojni primeri inteligentnih mehatroničkih sistema u svim oblastima života, kod kućnih aparata, medicinskih uređaja, automatizacije proizvodnih i tehnoloških procesa u različitim industrijskim granama, robotike i čovekolikih robota, bespilotnih letelica i drugih autonomnih proizvoda avio, vojne i svemirske industrije i slično. Međutim, razvoj automobilske industrije i koncepti savremenih vozila najbolje ilustruju razvoj i primenu mehatronike i mehatroničkih sistema u obavljanju ključnih funkcija u različitim odgovornim područjima. To su, prvenstveno, sistemi koji pružaju pomoć vozaču u kritičnim situacijama tokom vožnje i tako omogućavaju povećanje bezbednosti, zajedno sa sistemima za poboljšanje voznih performansi, sigurnosti i pouzdanosti vozila, smanjenje potrošnje goriva, poboljšanje sastava izduvnih gasova i smanjenje emisije štetnih komponenti. Pored ovih bezbednosnih, ekoloških i ekonomskih aspekata, kod savremenog načina života veoma je bitno ispunjenje i zahteva za komforom vozača i putnika, pri čemu su ulaganja u navedena funkcionalna poboljšanja u direktnoj suprotnosti sa uslovima konkurentske borbe na globalnom tržištu za proizvodnjom jeftinijih vozila. Zahvaljujući integraciji komponenta mehatroničkih sistema senzora, elektronskih upravljačkih jedinica i aktuatora obezbeđuje se ispunjenje postavljenih kompromisa kod savremenih vozila. Pri tome, senzori prikupljaju informacije o stanju nadgledanog sistema i u obliku mernih veličina prosleđuju elektronskim upravljačkim jedinicama koje ih zajedno sa drugim referentnim podacima obrađuju, na osnovu čega aktuatori izvršavaju aktivnosti kojima se ostvaruje željeno ponašanje nadgledanog sistema.

Nakon uvoda koji obuhvata pregled osnovnih pojmova i karakteristika mehatroničkih komponenta i sistema i potrebe za uvođenjem mehatroničkih sistema kod savremenih vozila, u drugom poglavlju ovog udžbenika detaljno i sistematski je opisana uloga elektronskih upravljačkih jedinica u kontroli, regulaciji i dijagnostici ispravnosti komponenta i funkcija mehatroničkih sistema na savremenim vozilima, kao i mogućnost komunikacije sa uređajima van vozila (dijagnostičkim uređajima, mobilnim telefonima, sistemima navigacije, drugim vozilima i slično). Prvi deo ovog poglavlja je posvećen konstrukciji elektronskih upravljačkih jedinica, dok se u drugom delu govori o njihovoj strukturi, ulaznim signalima, unutrašnjoj hardverskoj strukturi i komponentama i izlaznim signalima. Treći deo opisuje proces razvoja elektronskih upravljačkih jedinica od ideje do gotovog proizvoda kroz razvoj hardvera, funkcija i softvera, kao i testiranje elektronskih upravljačkih jedinica na vozilu. Četvrti deo se bavi mrežnom komunikacijom između različitih elektronskih upravljačkih jedinica na vozilu i drugih uređaja van vozila, gde se detaljno opisuju topologije mreža. U petom delu su detaljno opisani sistemi za prenos podataka za različite tipove mreža, dok su u šestom delu izloženi dijagnostika elektronskih upravljačkih jedinica kroz standardizovane protokole za uspostavljanje veze i

komunikaciju između elektronskih upravljačkih jedinica na vozilu i dijagnostičkih uređaja, dijagnostičke funkcije i objašnjenje kodova grešaka.

Treće poglavlje udžbenika je deo u kome su detaljno opisane različite vrste senzora prema mernoj veličini koja se pretvara u električni signal u okviru mehatroničkih sistema na vozilima. Za svaku vrstu senzora dati su načini merenja fizičke veličine, principi rada, primena na vozilima, prikaz veze između senzora i elektronske upravljačke jedinice, dijagnostika ispravnosti, karakteristični kodovi grešaka, načini ispitivanja i snimanje i analiza oscilograma izlaznih signala. Obrađeni su senzori stanja, temperature, položaja, kliktanja, pritiska, obrtanja, nivoa, protoka, ubrzanja, pravca kretanja, odstojanja, vlažnosti i kiše i senzori koncentracije gasa.

U udžbeniku su u četvrtom poglavlju prikazani pogonski elementi mehatroničkih sistema koji predstavljaju vezu između elektronskih upravljačkih jedinica i nadgledanih sistema na vozilima. Detaljno su razrađeni elektromagnetni aktuatori kao najzastupljenija grupa pogona mehatroničkih sistema kod savremenih vozila kroz opis funkcije, načine pretvaranja električne energije u mehanički rad, šeme veze između elektronskih upravljačkih jedinica i aktuatora, primeri primene na vozilu, dijagnostike ispravnosti, karakterističnih kodova grešaka i popravke i podešavanja na vozilu. Obrađeni su releji, elektromagnetni ventili, elektromotori i koračni motori.

Na kraju udžbenika nalazi se spisak korišćenih skraćenica koje se pojavljuju u tekstu sa opisom skraćenica na engleskom i srpskom jeziku.

Smatramo da se posebna vrednost ovog udžbenika ogleda u originalnom i sistematskom pristupu izučavanja komponenata mehatroničkih sistema sa primenom kod savremenih vozila, prikaza veza sa elektronskim upravljačkim jedinicama, dijagnostike ispravnosti, tabelarnog prikaza kodova najzastupljenijih grešaka sa objašnjenjima, načina ispitivanja, snimanja i analize oscilograma karakterističnih signala, popravki i podešavanja itd. Obrađeni materijal odgovara sadržaju nastavnog plana i programa predmeta Mehatronički sistemi u saobraćaju i transportu koji se sluša u na Master akademskim studijama na Mašinskom fakultetu u Nišu na studijskim programima Mehatronika i upravljanje i Saobraćajno mašinstvo, transport i logistika u delu gde se obrađuju principi funkcionisanja komponenata mehatroničkih sistema, sa posebnim naglaskom na mehatroničke sisteme koji predstavljaju nezaobilaznu opremu koja kod savremenih vozila utiče na bezbednost, energetska efikasnost, ekološke aspekte i komfor. Verujemo da jasan i precizan stil, pažljivo odabran sadržaj i moderan metodološki pristup, čine ovaj udžbenik pogodnim i za šire stručne krugove.

I pored činjenice da je za izvršenu sintezu materijala iz više oblasti uloženo mnogo truda i vremena, dobronamerne primedbe i sugestije čitalaca za poboljšanje kvaliteta su dobrodošle.

U Nišu, juna 2017. god.

Autori

## Sadržaj

1. Uvod .....	1
2. Elektronske upravljačke jedinice.....	15
2.1. Konstrukcija EUJ .....	19
2.2. Struktura EUJ.....	22
2.2.1. Ulazni stepen.....	22
2.2.2. Stepen obrade.....	23
2.2.3. Izlazni stepen .....	27
2.3. Razvoj EUJ .....	29
2.3.1. Razvoj hardvera .....	30
2.3.2. Razvoj funkcija .....	31
2.3.3. Razvoj softvera.....	34
2.3.4. Testiranje EUJ na vozilu .....	43
2.4. Mrežna komunikacija između različitih EUJ.....	45
2.5. Sistemi za prenos podataka .....	49
2.5.1. Multiplex .....	52
2.5.2. Lokalna mreža za povezivanje (LIN) .....	56
2.5.3. Mreža kontrolera (CAN).....	59
2.5.4. Mreža FlexRay .....	67
2.5.5. Medijski orijentisan prenosni sistem (MOST).....	69
2.5.6. Bežični prenos podataka - BLUETOOTH.....	76
2.6. Dijagnostika EUJ .....	80
2.6.1. Komunikacija preko K linije.....	89
2.6.2. CAN komunikacija .....	92
3. Senzori.....	93
3.1. Senzori stanja .....	101
3.1.1. Prekidač kao senzor stanja.....	102
3.1.2. Taster kao senzor stanja .....	106
3.2. Senzori temperature .....	111
3.3. Senzori položaja .....	118
3.4. Senzori kliktanja .....	129

3.5. Senzori pritiska .....	135
3.5.1. Kapacitivni senzori pritiska.....	135
3.5.2. Otpornički – tenzometrijski senzori pritiska .....	138
3.5.3. Piezoelektrični senzori pritiska.....	142
3.6. Senzori obrtanja .....	150
3.6.1. Klasični magnetni senzori obrtanja .....	151
3.6.2. Senzori obrtanja na bazi Holovog efekta .....	158
3.7. Senzori nivoa .....	167
3.7.1. Potenciometarski senzori nivoa .....	168
3.7.2. Otpornički senzori nivoa .....	169
3.7.3. Kapacitivni senzori nivoa.....	170
3.7.4. Ultrazvučni senzori nivoa .....	171
3.7.5. Magnetni senzori nivoa.....	173
3.8. Senzori protoka .....	177
3.8.1. Potenciometarski senzori protoka .....	179
3.8.2. Termički senzori protoka.....	182
3.9. Senzori ubrzanja .....	196
3.9.1. Piezoelektrični senzor ubrzanja .....	197
3.9.2. Piezootporni senzor ubrzanja .....	198
3.9.3. Magnetni senzor bočnog ubrzanja.....	199
3.9.4. Kapacitivni senzor bočnog ubrzanja.....	200
3.9.5. Senzor sudara sa valjkom .....	203
3.9.6. Senzor sudara sa kuglom.....	204
3.10. Senzori pravca kretanja .....	207
3.10.1. Senzor ugla upravljača .....	207
3.10.2. Senzor skretanja vozila sa piezoelektričnim cilindričnim rezonatorskim žiroskopom .....	212
3.10.3. Piezoelektrični senzor skretanja vozila sa zvučnom viljuškom .....	213
3.10.4. Senzor skretanja vozila sa oscilujućom masom .....	216
3.10.5. Mikromehatronički senzor skretanja vozila .....	217
3.11. Senzori odstojanja .....	219
3.11.1. Ultrazvučni parking senzor .....	220
3.11.2. Elektromagnetni parking senzor .....	222
3.11.3. Radarski senzori odstojanja .....	224
3.11.4. Laserski radarski senzori odstojanja .....	226

3.12. Senzori vlažnosti i kiše.....	230
3.12.1. Senzor vlažnosti .....	230
3.12.2. Senzor kiše .....	232
3.13. Senzori koncentracije gasa.....	236
3.13.1. Cevasta lambda sonda .....	239
3.13.2. Pločasta lambda sonda .....	241
3.13.3. Širokopojasna lambda sonda.....	242
3.13.4. Titanijumska lambda sonda .....	246
3.13.5. NO <sub>x</sub> senzor .....	247
4. Aktuatori .....	256
4.1. Releji .....	261
4.2. Elektromagnetni ventili.....	266
4.2.1. Brizgaljke .....	268
4.3. Elektromotori .....	280
4.3.1. Motori jednosmerne struje.....	281
4.4. Koračni motori .....	296
Spisak korišćenih skraćenica .....	304
LITERATURA.....	307