



Funded by  
the European Union

# Senzori i Aktuatori u Električnim Vozilima 1

Prof. dr Aleksandar Micić  
Faculty of technical sciences Kosovska Mitrovica

Name of Event/ Date

*"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



## OUTLINE

- **Senzori u električnim vozilima (EV):** nadgledanje baterije, kontrola motora, ulazi šasije/vozača, ADAS/senzori životne sredine
- **Aktuatori u EVs:** Pogon (motor/inverter), upravljanje, kočenje, sigurnost baterije, upravljanje toplotom
- **Kontrolni Sistemi:** Kako EV kontroleri koriste podatke sa senzora da pogone aktuatore (petlje sa povratnom spregom , primer regenerativnog kočenja)
- **Budući trendovi:** X-by-wire sistemi, motori u točkovima, napredne senzorske tehnologije, inteligentna dijagnostika



## Uvod: Zašto su senzori i aktuatori važni

-----

Električna vozila (EV) zasnivaju se na radu mreže **senzora** i **aktuatora** da bi radila efikasno i bezbedno. Senzori su esencijalno “oči i uši” u električnim vozilima (EV), konstantno mereći fizičke veličine kao što su brzina, temperatura, napon omogućavajući praćenje u realnom vremenu podataka o EV i njegovom okruženju ([Introduction to Automotive Sensors and Actuators](#)). .....

Aktuatori su „izvršiooci“ – oni preuzimaju komande od kontrolnih jedinica EV-a i pretvaraju električne signale u fizičku akciju, od primene kočnica do upravljanja točkovima ili kontrole obrtnog momenta motora ([Introduction to Automotive Sensors and Actuators](#)). Ova čvrsta integracija senzora i aktuatora omogućava električnim vozilima da postignu visoke performanse, energetske efikasnost i bezbednost daleko iznad onoga što bi mogli da urade čisto mehanički sistemi.



## Kako EV koriste senzore i aktuatore

U EV, senzori i aktuatori rade zajedno u upravljanju sa zatvorenom povratnom spregom. Senzori prenose informacije elektronskim kontrolnim jedinicama (ECU) o stanju vozila – na primer, brzina točkova, položaj pedale, status baterije i broj obrtaja motora. Softver za kontrolu EV-a (njegov „mozak“) kontinuirano analizira ove ulaze i šalje komande aktuatorima da prilagode rad vozila u realnom vremenu ([Adaptive Control Mechanisms for Electric Vehicles: A Study Based on Driving Environments](#)). Na primer, ako senzor detektuje proklizavanje točka, kontrolna jedinica može signalizirati aktuator (kontrolor motora ili aktuator kočnice) da smanji obrtni moment i povrati vuču. U suštini, senzori obezbeđuju podatke, a aktuatori izvršavaju radnje, omogućavajući EV-u da dinamički reaguje na komande vozača i uslove vožnje .....

## Glavni tipovi Senzora u EV

(A comprehensive look at EV sensors alongside Prostech's solutions. - PROSTECH)

- **Senzori pozicije i brzine:** Detektuju poziciju, uglove i ugaonu brzinu pojedinih komponenti. Na primer, senzori položaja vratila motora ili senzori brzine točkova daju kritičnu povratnu informaciju za upravljačke sisteme
- **Senzori struje:** Mere struju u različitim kolima (baterije, inverteri, punjači). Oni pomažu da se prati potrošnja energije i da se prevenira struja prevelikog intenziteta; u BMS (Battery management systems), strujni senzori prate procese punjenja/pražnjenja i stanje zdravlja baterija
- **Senzori napona:** Mere napone u ćelijama baterija, modulima, i visoko-naponskim magistralama(bus). Ovi senzori osiguravaju da svaka ćelija radi u sigurnim granicama i može otkriti greške kao što su kvarovi izolacije ili napona u ćelijama
- **Temperature Sensors:** Nalaze se u celom EV (ćelije baterije, namotaji motora, uređaji energetske elektronike) za praćenje temperatunih uslova. Oni omogućavaju sistemima za upravljanje temperaturom da drže komponente u bezbednom radnom opsegu i mogu pokrenuti zaštitne akcije ako se otkrije pregrevanje

## Senzori za monitoring baterije: Napon i struja

- **Senzori napona ćelije/pakovanja:** Senzori napona su pričvršćeni za pojedinačne ćelije ili module da izmere njihov napon. BMS koristi ove podatke da uravnoteži napone na ćelijama, spreči prekomerno ili preterano pražnjenje i proceni stanje napunjenosti. U tipičnom EV, BMS prati napon svakog niza ćelija kako bi osigurao da ostanu u sigurnim granicama
- **Senzor struje (Shunt ili Hall-effect):** Senzor struje visoke preciznosti (često uređaj sa Holovim efektom ili šant otpornik) meri struju punjenja i pražnjenja baterije. Ovi podaci senzora se koriste za praćenje koliko energije ulazi ili izlazi iz baterije, što pomaže u izračunavanju stanja napunjenosti i stanja pakovanja baterije . Takođe omogućava otkrivanje abnormalnih struja (kratkih spojeva ili prevelikih brzina pražnjenja) tako da sistem može brzo da odvoji paket ako je potrebno

## Senzori za Monitoring baterije: Temperatura i Bezbednost

- **Senzori temperature:** Termistori ili temperaturne sonde se postavljaju na ćelije i kanale rashladne tečnosti da stalno mere temperaturu baterije. Upravljanje toplotom je ključno za litijum-jonske baterije – one najbolje rade u opsegu od ~15–45 °C i mogu se oštetiti ekstremno. BMS se oslanja na ove temperaturne senzore da aktivno upravlja sistemima za hlađenje/grejanje i da izbegne uslove koji bi mogli da dovedu do toga da temperatura baterija izađe van željnog opsega.
- **Detektori gasa i curenja:** Napredni EV paketi često uključuju sigurnosne senzore kao što su gasni senzori za otkrivanje bilo kakvog ispuštanja zapaljivih gasova iz ćelija i senzore curenja tečnosti za otkrivanje curenja rashladne tečnosti. Ovo su uređaji za rano upozorenje – ako ćelija baterije pređe kritične temperature i ispusti gas, senzor može upozoriti BMS da pokrene alarm ili preduzme akciju. Isto tako, detektor curenja rashladne tečnosti može uhvatiti pukotinu rashladne tečnosti u paketu (što može izazvati kratke spojeve) tako da se sistem može isključiti.

## Senzori za Motore i Invertere

- **Senzori položaja rotora:** Većina motora u EV su sinhronne mašine na naizmeničnu struju koje zahtevaju povratne informacije o položaju rotora za kontrolu. Namenski senzor kao što je rezolver ili magnetni enkoder prati tačan ugao rotora motora. Inverter koristi ovu povratnu informaciju da primeni struju na namotaje motora sa preciznim vremenskim podešavanjem (kontrola usmerena na polje). Rezultat je efikasna proizvodnja obrtnog momenta u svim brzinama. Na primer, Continentalov senzor položaja rotora e-motora „precizno meri ugaonu poziciju osovine rotora u sinhronim motorima kako bi obezbedio efikasan rad“
- **Senzori struje (Struja faze/sabirnice):** Inverter ili kontroler motora opremljeni su strujnim senzorima za merenje električne struje koja teče u motor (bilo na svakoj fazi ili na liniji napajanja jednosmernom strujom). Ovi senzori su ključni za kontrolu obrtnog momenta – omogućavaju kontroleru da reguliše struju motora (a time i obrtni moment) u željenim granicama. Oni takođe imaju zaštitnu ulogu: ako se otkrije iznenadni skok ili neravnoteža struje, sistem može reagovati (na primer, isključivanjem pretvarača). U EV aplikacijama, senzori sa Holovim efektom otvorene petlje i drugi dizajni se koriste za brzo očitavanje struje motora. Senzori struje otvorene petlje reaguju u mikrosekundama i idealni su za kontrolu motora, gde je ultra-visoka preciznost manje kritična od brzog otkrivanja



- **Senzori temperature motora/invertera:** Motori velike snage i energetska elektronika generišu toplotu, tako da su senzori temperature takođe ugrađeni u ove komponente. Na primer, motori obično imaju termistore u namotajima statora ili blizu ležajeva za praćenje unutrašnjih temperatura. Slično tome, poluprovodnički moduli invertera imaju senzore temperature. Sistem ih koristi da spreči pregrevanje – kontroler može da smanji snagu ako je motor vruć ili da uključi ventilatore za hlađenje. Povratna informacija o temperaturi pomaže u obezbeđivanju pouzdanosti i sprečavanju oštećenja motora ili pretvarača usled prekomerne toplote

## Chassis & Driver Input Sensors

- **Senzori brzine točka:** Svaki točak u EV-u ima senzor brzine (obično magnetni hvatač na glavčini točka) koji meri koliko brzo se točak rotira. Oni su ključni za sisteme protiv blokiranja kočnica (ABS), kontrolu proklizavanja i elektronske kontrole stabilnosti (ESC). U stvari, senzor brzine točka se često smatra „najvažnijim senzorom“ za dinamičku kontrolu vozila – ako točak klizi ili se blokira, kontrolni sistem će ga detektovati preko ovog senzora i komandovati kočnicama ili motorom da intervenišu.
- **Inercijalna merna jedinica (IMU):** IMU koji se obično sastoji od akcelerometara i žiroskopskih senzora je montiran u vozilu da bi osetio njegovo kretanje (uzdužno/bočno ubrzanje i skretanje/rotiranje). Ovi senzori daju informacije sistemu kontrole stabilnosti (ESC) kako se vozilo kreće u 3D prostoru. ESC računar će videti neslaganje između brzine skretanja i brzine točkova i može da aktivira aktuatora (kočnice ili podešavanja obrtnog momenta motora) da bi pomogao u ispravljanju putanje. IMU podaci se takođe koriste za odluke o aktiviranju vazdušnih jastuka (otkrivanje udara od sudara), a za napredni ESC računar za pomoć vozaču će videti neslaganje između brzine skretanja i brzine točkova, i može da aktivira aktuatora (kočnice ili podešavanja obrtnog momenta motora) kako bi pomogao u ispravljanju putanje.



- **Senzori položaja pedale:** EV koriste elektronske „drive-by-wire“ ulaze za gas i često kočnicu. Pedala gasa ima senzor položaja (obično dvostruki potenciometar ili senzori sa Hologram efektom) koji meri koliko je pedala pritisnuta. Ovaj senzor je neophodan - on govori kontroleru motora koliki obrtni moment vozač zahteva. Glatka i precizna reakcija je ključna za voznu sposobnost. Isto tako, senzori papučice kočnice (senzori pritiska ili senzori putovanja u sistemima kočnice po žici) otkrivaju koliko jako vozač koči. U mnogim električnim vozilima, ovo se koristi za besprekorno mešanje regenerativnog kočenja sa kočenjem trenjem. Iako su ovi senzori za pedale u principu jednostavni, oni su kritični za bezbednost i obično imaju redundantne senzorske elemente.