

SISTEMI ZA SKLADIŠTENJE ENERGIJE I UPRAVLJANJE BATERIJAMA U ELEKTRIČNIM VOZILIMA – dio 2



Univerzitet u Istočnom Sarajevu
Elektrotehnički fakultet
Bosna i Hercegovina

ISHODI UČENJA

Savladavanjem ovog predmeta student će biti osposobljen da:

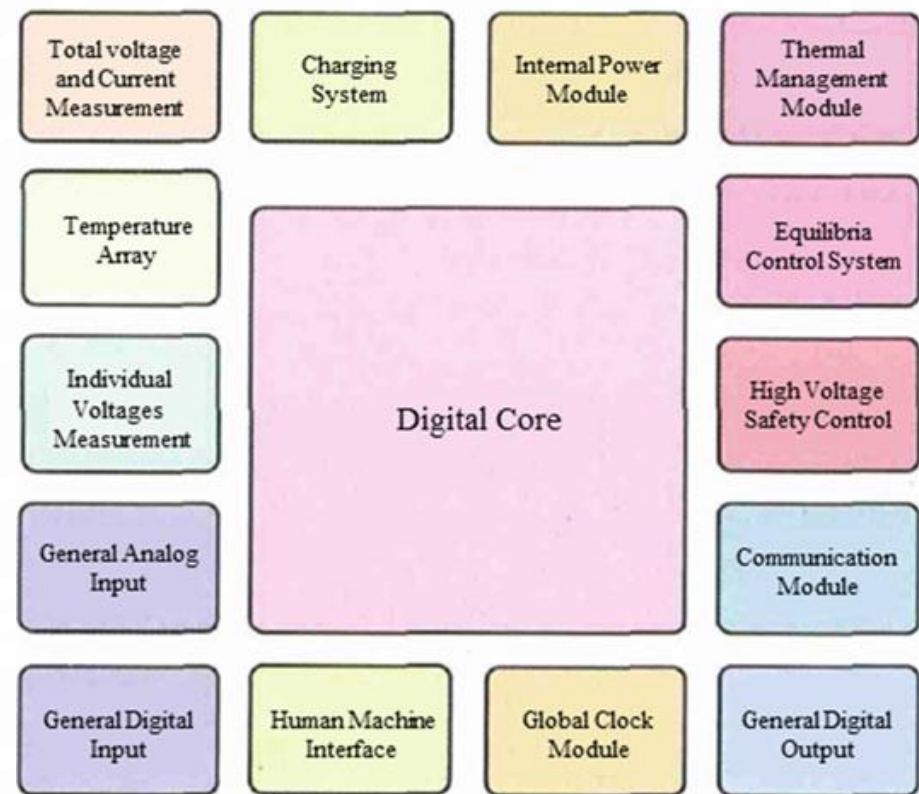
- Razumije različite medije za skladištenje električne energije, posebno u pogledu gustine snage, isporučene snage, održavanja, troškova, bezbjednosti i uticaja na životnu sredinu.
- Razumije osnovne principe i izazove sa različitim principima punjenja
- Razumije principe rada sistema upravljanja baterijama u električnim vozilima.

SADRŽAJ PREDMETA

1. Uvod u sisteme za skladištenja energije u električnim vozilima (EV)
2. Glavne tehnologije medija za skladištenje električne energije u EV
3. Osnovni parametri za procjenu stanja sistema za skladištenje energije
4. Baterije kao glavni dio za skladištenje energije u električnim vozilima
5. Princip rada i vrste baterija
6. Parametri performansi baterije za napajanje
7. Model baterije
 8. Ključne tehnologije sistema upravljanja baterijom (BMS)
 9. Proračun ključnih parametara sa BMS
 10. Nadgledanje i procjena parametara baterije
 11. Metode procjene stanja baterije
 12. Optimizovano upravljanje punjenjem
 13. Upravljanje toplotom i termička sigurnost
 14. Interna i eksterna komunikacija
 15. Sistem za upravljanje baterijom u oblaku

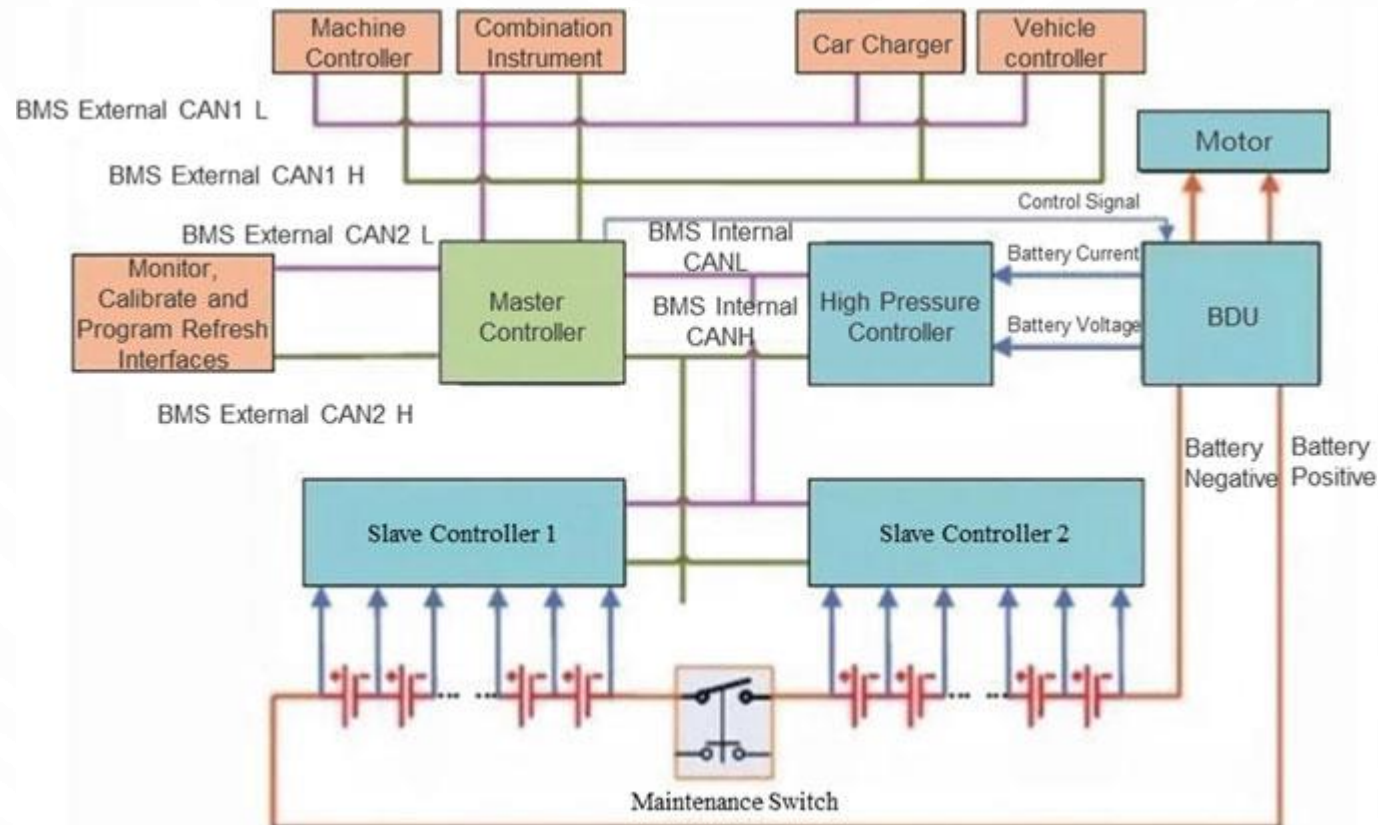
8. KLJUČNE TEHNOLOGIJE SISTEMA UPRAVLJANJA BATERIJOM (BMS)

- Glavne razlike između tradicionalnih vozila na gorivo i električnih vozila su u tome što električna vozila koriste baterije kao izvor energije.
- Pogonske baterije su nezaobilazni dijelovi električnih vozila.
- Sistem za upravljanje baterijama (BMS) je ključna tehnologija za baterijske pakete.
- BMS je dizajniran da poveća sigurnost i pouzdanost baterija, poveća stopu pražnjenja, produži životni vijek i poveća domet vozila.
- BMS predstavlja značajnu vezu između baterijskog paketa, cjelokupnog sistema vozila i motora.
- BMS optimizuje snagu i domet električnog vozila jer pojedinačna ćelija ima ograničen kapacitet i napon.
- BMS prati baterijske module i upravlja baterijama prema parametrima kao što su struja, napon, unutrašnji otpor i kapacitet.



8. KLJUČNE TEHNOLOGIJE SISTEMA UPRAVLJANJA BATERIJOM (BMS)

- Šematski prikaz distribuirane arhitekture BMS-a

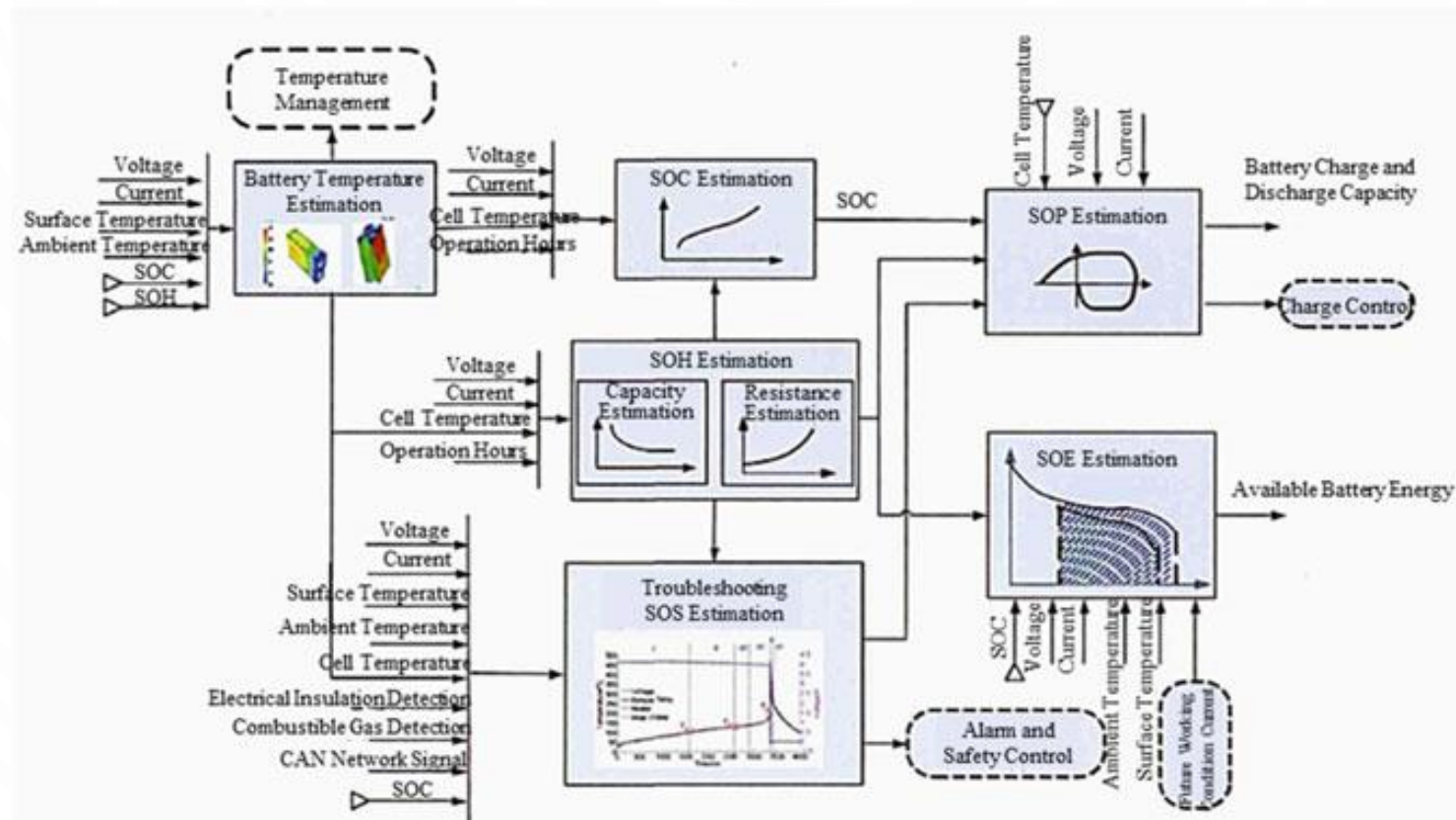


9. PRORAČUN KLJUČNIH PARAMETARA SA BMS

- Postoji mnogo parametara koji opisuju performanse baterije, kao što su napon, kapacitet, unutrašnji otpor, temperatura i struja.
- Informacije o naponu baterije, struji, stanju punjenja, izolacionom otporu i prekidačima prikuplja glavni kontroler.
- Pomoćni kontroler prikuplja real-time podatke o naponu i temperaturi i šalje ih glavnom kontroleru.
- Stanja baterije uključuju:
 - State of Charge (SOC) – stanje napunjenosti
 - State of Health (SOH) – stanje zdravlja
 - State of Power (SOP) – stanje snage
 - State of Safety (SOS) – stanje sigurnosti
 - State of Energy (SOE) – stanje energije
- SOC je jedan od najvažnijih parametara BMS-a i daje referencu za kontrolu punjenja/praznjenja i balansiranja.
- SOH pruža informacije o korišćenju, održavanju i ekonomičnosti baterije.
- SOS, SOP i SOE opisuju bateriju sa aspekta sigurnosti, funkcionalnosti i energije, respektivno.

9. PRORAČUN KLJUČNIH PARAMETARA SA BMS

- Okvir algoritma za estimaciju stanja BMS-a



10. NADGLEDANJE I PROCJENA PARAMETARA BATERIJE

- Praćenje i procjena baterijskih parametara odnosi se na procese mjerenja i predviđanja ključnih stanja i parametara baterije u realnom vremenu, najčešće unutar Sistema za upravljanje baterijom (BMS – Battery Management System).
- Praćenje (direktno mjerljivi parametri) - Ovo su veličine koje se mogu mjeriti senzorima:
 - Napon ćelije/paketa (V) – osnovni parametar, koristi se za kontrolu i zaštitu.
 - Struja (A) – mjeri se pomoću šanta ili Hall senzora.
 - Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) – ključna za sigurnost i termalno upravljanje.
 - Pritisak / ekspanzija (kod nekih hemija) – dodatni indikator sigurnosti.

Praćenje pruža osnovne mjerljive podatke, ali nije dovoljno da opiše unutrašnje stanje baterije.

- Procjena (unutrašnji parametri i stanja) - Ovi parametri se ne mogu direktno mjeriti i moraju se procjenjivati pomoću modela i algoritama:
 - State of Charge (SoC) – stanje napunjenosti: procjena koliko energije je preostalo u bateriji (%)
 - State of Health (SoH) – stanje zdravlja: stepen degradacije u odnosu na novu bateriju (%)
 - State of Power (SoP) – stanje snage: maksimalna snaga koju baterija trenutno može isporučiti ili primiti
 - State of Energy (SoE) – stanje energije: preostala iskoristiva energija, često se koristi zajedno sa SoC ili umjesto njega
 - Unutrašnji otpor/impedansa: ključni parametar za termalne proračune i procjenu degradacije

10. NADGLEDANJE I PROCJENA PARAMETARA BATERIJE

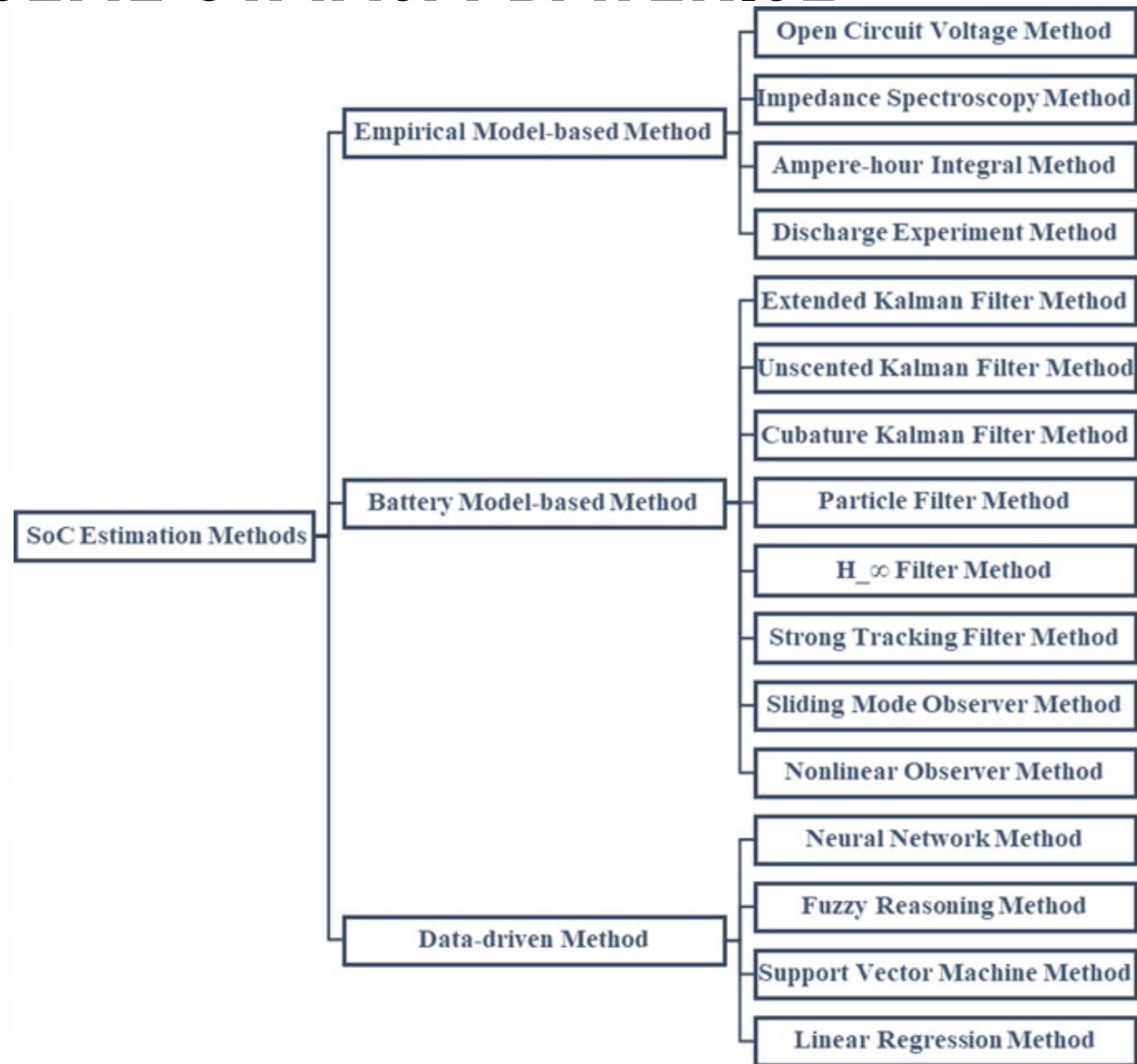
Metode i algoritmi za procjenu

- Model-based (zasnovano na modelu):
 - Ekvivalentni modeli kola (Thevenin, RC modeli)
 - Fizički zasnovani elektrohemijski modeli
- Observer-based (zasnovano na posmatraču):
 - Kalman filteri (EKF, UKF, Adaptive KF)
 - Luenberger posmatrači
- Data-driven / AI-based (zasnovano na podacima / umjetna inteligencija):
 - Mašinsko učenje (Machine Learning)
 - Neuronske mreže (Neural Networks)
 - Fuzzy logika – sve više se primjenjuje u modernim BMS-ovima

11. METODE PROCJENE STANJA BATERIJE

- Procjena SOC-a – Stanje napunjenosti baterije je odnos između preostalog naelektrisanja u bateriji i ukupnog kapaciteta. SOC se ne može direktno mjeriti. Može se izračunati pri fiksnoj stopi pražnjenja prema „Proceduri testiranja baterija za električna vozila“ koju je definisao Advanced Battery Consortium of America.

$$SOC(t) = SOC(0) - \int_0^t \frac{\eta_i i(t)}{Q_N} dt$$



11. METODE PROCJENE STANJA BATERIJE

- Procjena SOH-a – Stanje zdravlja baterije (SOH) opisuje smanjenje kapaciteta energije i snage baterije tokom starenja. SOH je od velike važnosti za sigurnost baterije, performanse električnog vozila i iskustvo vozača.
- Kada SOH padne ispod određene granične vrijednosti, baterija treba da se izuzme iz upotrebe u EV kako bi se spriječili sigurnosni rizici.
- Kapacitet i otpor baterije, koji određuju energiju i snagu baterije, široko se koriste za procjenu SOH-a u praktičnim primjenama.
- Definicija SOH pomoću kapaciteta (gdje je Q_{aged} trenutni kapacitet, a Q_{new} nominalni kapacitet na početku vijeka baterije)

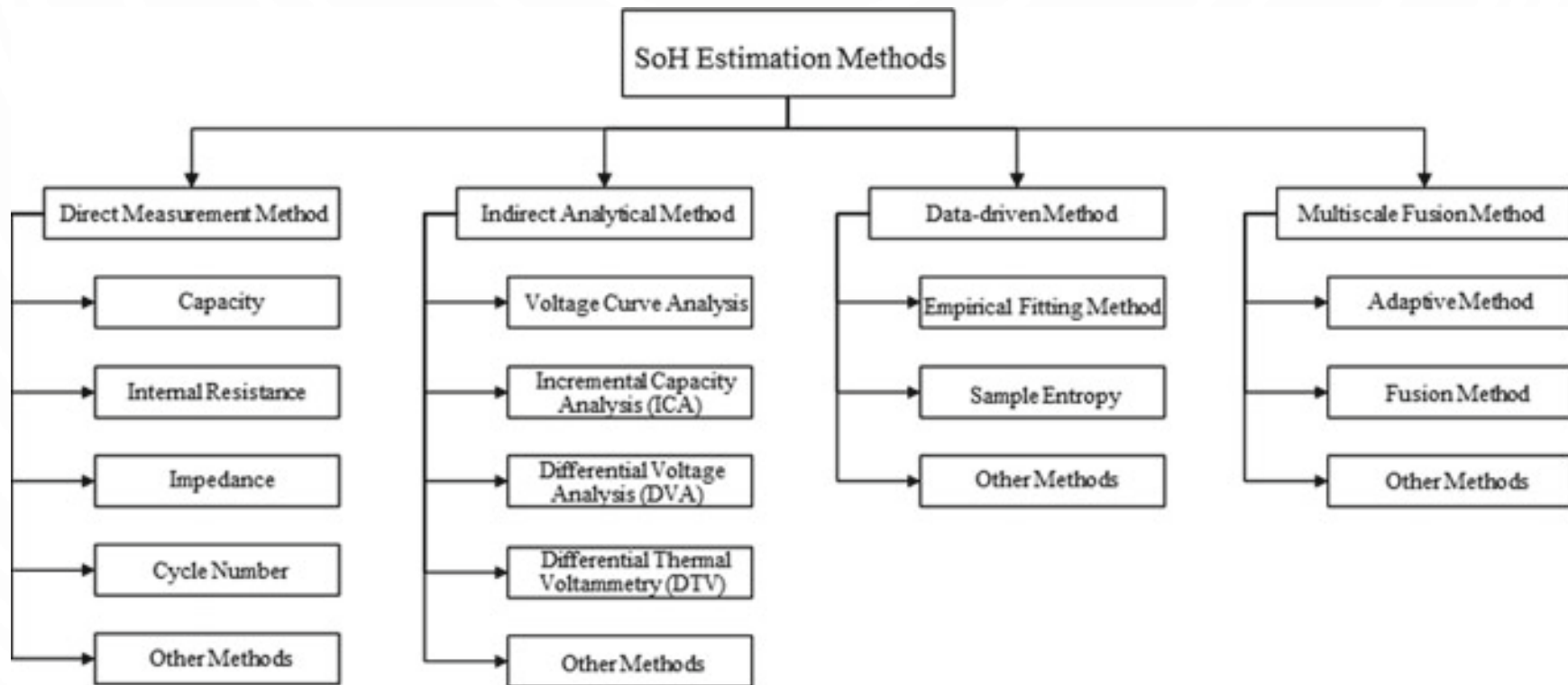
$$SOH = \frac{Q_{aged}}{Q_{new}}$$

$$SOH = \frac{R_{EOL} - R}{R_{EOL} - R_{new}}$$

- Definicija SOH pomoću otpora (gdje je R_{EOL} otpor baterije na kraju vijeka, R_{new} otpor na početku vijeka, a R trenutni otpor)

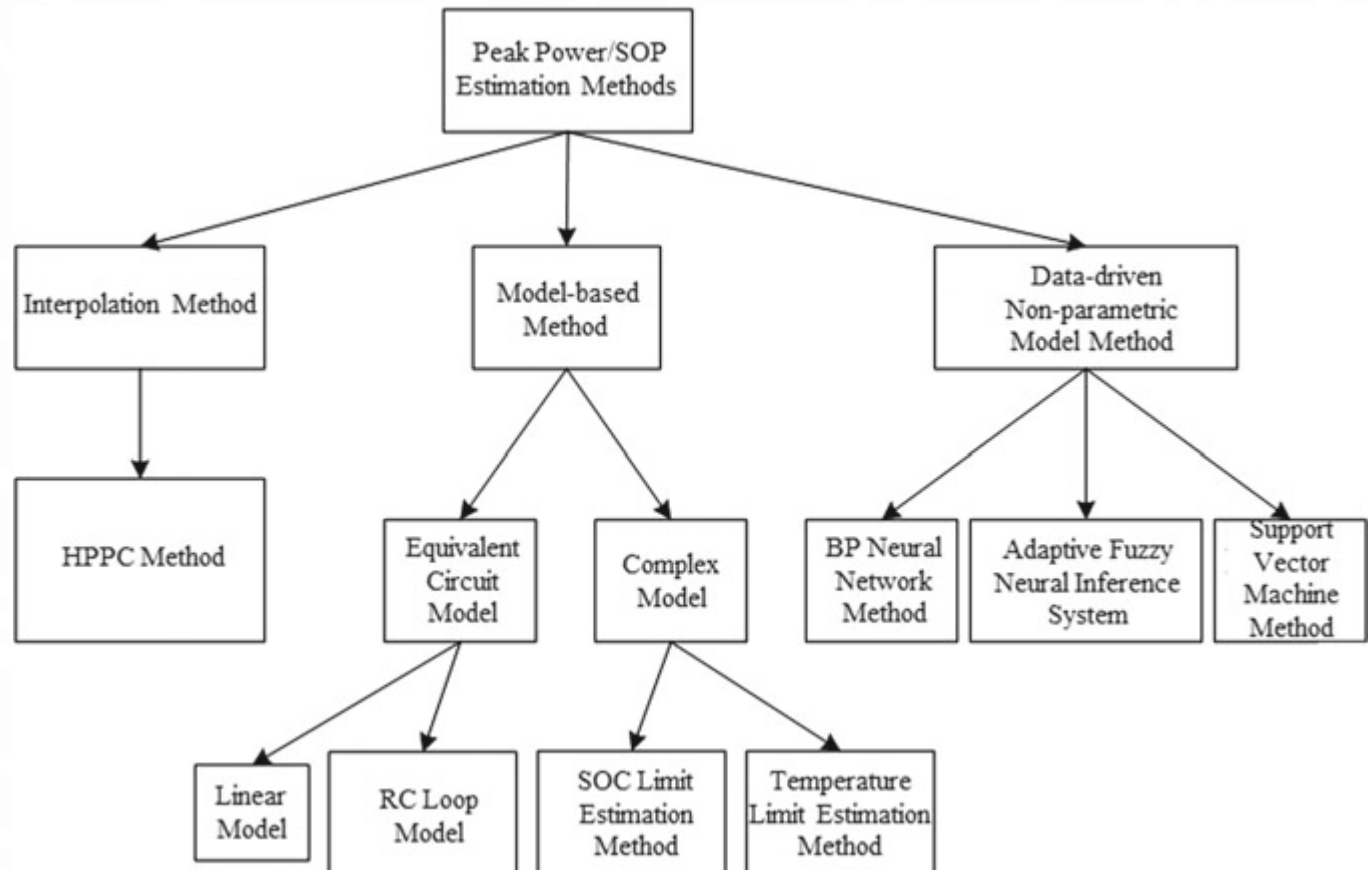
11. METODE PROCJENE STANJA BATERIJE

- Klasifikacija metoda za procjenu SOH-a



11. METODE PROCJENE STANJA BATERIJE

- Procjena SOP-a – Stanje snage baterije je važan parametar za električna vozila, posebno hibridna EV, radi kontrole sigurnosti i rekuperativnog kočenja. SOP predstavlja maksimalni kapacitet snage baterije unutar određenog vremenskog okvira. Precizna procjena SOP-a je važna za optimizaciju upravljanja snagom vozila, uz istovremeno osiguranje sigurnosti baterije tokom ubrzavanja, rekuperativnog kočenja i penjanja uzbrdo.



11. METODE PROCJENE STANJA BATERIJE

- Procjena SOE-a – Stanje energije baterije (SOE) je odnos između preostale energije u bateriji i nominalne energije.

$$SOE = \frac{E_{remaining}}{E_{rated}}$$

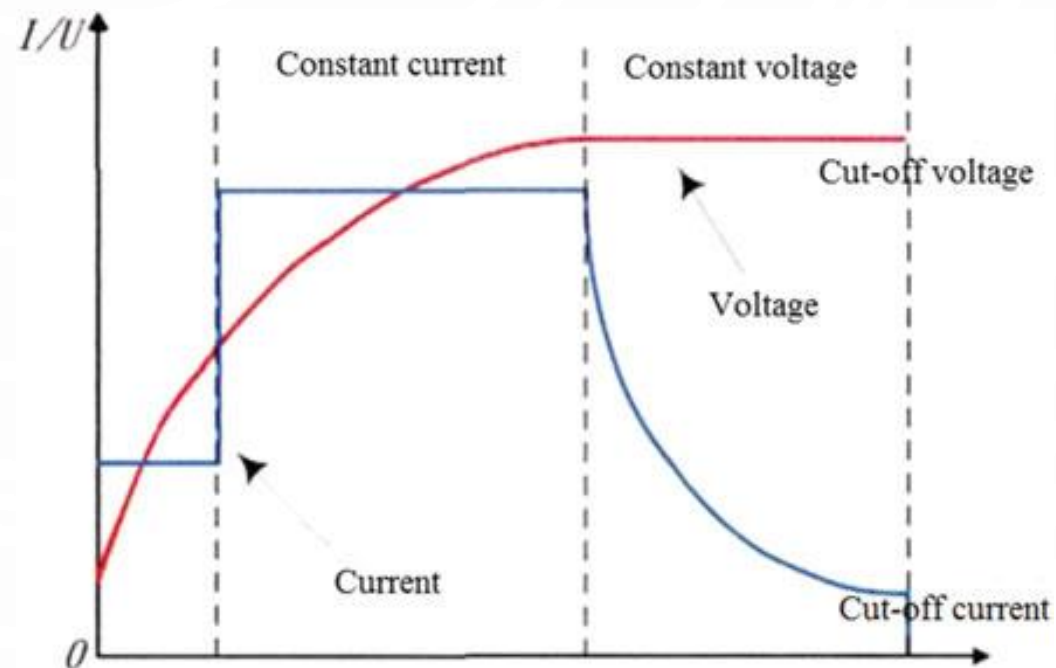
- *Erated* je nominalna energija. Erated predstavlja ukupnu energiju koju baterija može isporučiti od potpuno napunjenog stanja do kraja pražnjenja pri određenoj struji.
- *Eremaining* je preostala energija baterije, odnosno ukupna energija koju baterija još može isporučiti od trenutnog stanja do kraja pražnjenja pri određenoj struji.

11. METODE PROCJENE STANJA BATERIJE

- Procjena SOS-a – Stanje sigurnosti baterije (SOS)
- Dijagnostika kvarova je ključna za osiguranje sigurnosti baterije. Prema BMS standardu IEC/TR361431, BMS u električnim vozilima mora imati dijagnostičke funkcije, uključujući dijagnostiku starenja i ranu detekciju kvarova baterije.
- BMS treba da procijeni SOS baterije i nivo kvara, što je ključno za praćenje baterije. Termalni runaway je glavni uzrok ozbiljnih nesreća sa baterijama. Stoga postoji hitna potreba za preciznim metodama procjene SOS-a radi predviđanja termalnog runaway-a.
- Glavni uzroci termalnog runaway-a uključuju:
 - previsoku temperaturu,
 - prekomjerno pražnjenje,
 - unutrašnji kratki spoj itd.
- Granični uslovi za termalni runaway baterije mogu se dobiti proučavanjem mehanizama previsoke temperature i unutrašnjeg kratkog spoja.

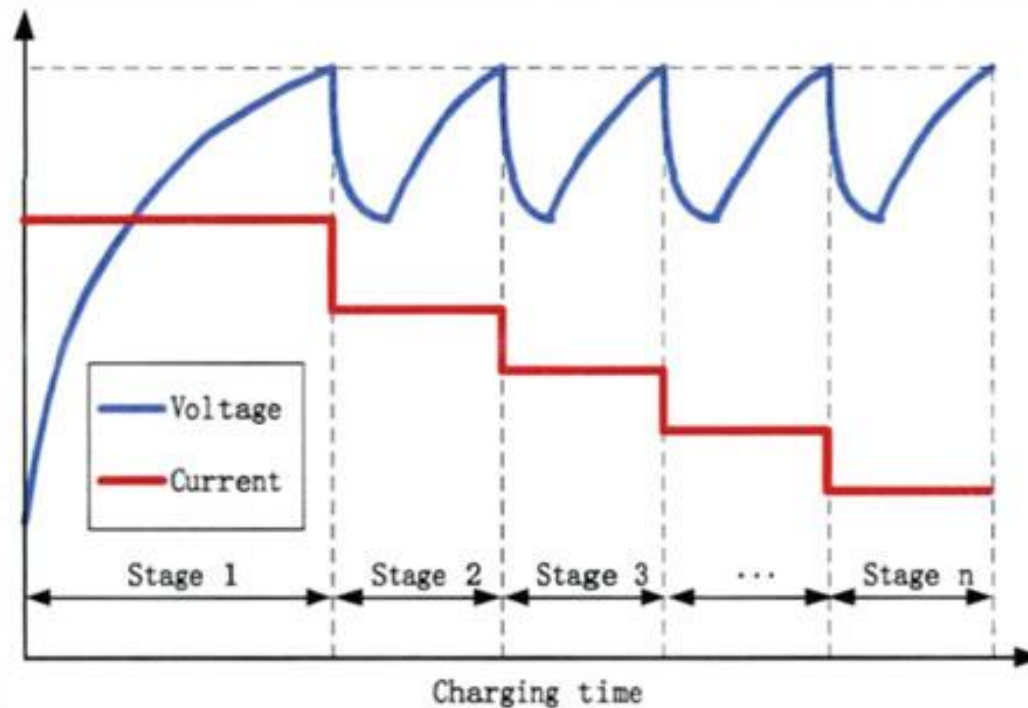
12. OPTIMIZOVANO UPRAVLJANJE PUNJENJEM

- Protokoli punjenja električnih vozila uključuju:
 - Punjenje konstantnom strujom – konstantnim naponom (CC-CV)
 - Višestepeno punjenje konstantnom strujom
 - Pulsno punjenje
- Konstantna struja – konstantan napon (CC-CV)



12. OPTIMIZOVANO UPRAVLJANJE PUNJENJEM

- Protokoli punjenja električnih vozila uključuju:
 - Punjenje konstantnom strujom – konstantnim naponom (CC-CV)
 - Višestepeno punjenje konstantnom strujom
 - Pulsno punjenje
- Višestepeno punjenje konstantnom strujom



12. OPTIMIZOVANO UPRAVLJANJE PUNJENJEM

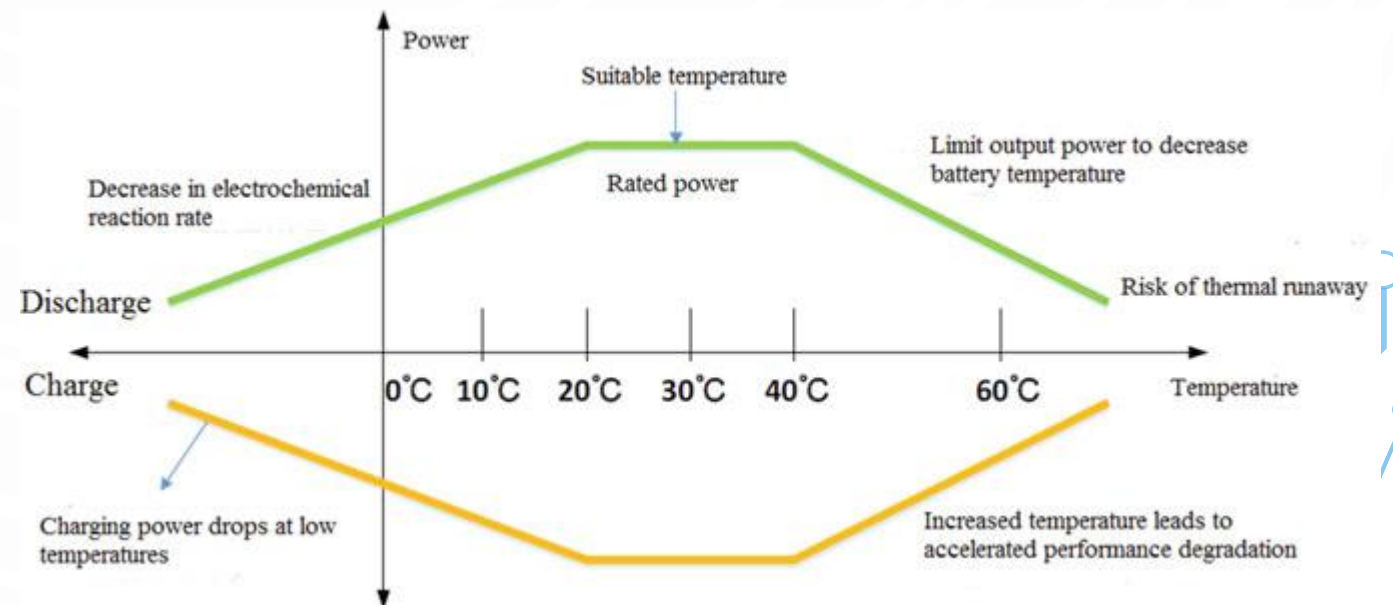
Modelom zasnovana metoda optimizacije punjenja

- Ključni aspekti u upravljanju punjenjem baterije uključuju: smanjenje vremena punjenja, produženje životnog vijeka ciklusa i poboljšanje pohranjene energije.
- Smanjenje vremena punjenja baterije kao cilj optimizacije
 - Vrijeme punjenja može se optimizovati ograničavanjem maksimalne struje, temperature i brzine sporednih reakcija.
 - Primjena fuzzy kontrolera i sličnih metoda.
- Produženje životnog vijeka ciklusa baterije kao cilj optimizacije
 - Životni vijek ciklusa je dugo bio usko grlo u razvoju litijum-jonskih baterija.
 - Vijek baterije zavisi od radnih uslova i metoda punjenja.
 - Optimizovana tehnika punjenja koja uzima u obzir životni vijek ciklusa je značajan aspekt šeme punjenja.
- Poboljšanje pohranjene energije baterije kao cilj optimizacije
 - Pohranjena energija (ili energijska gustina) litijum-jonske baterije je najznačajnija u određenim aplikacijama, što nije moguće ostvariti standardnim CC-CV punjenjem.
 - Potrebno je razviti optimizovane protokole punjenja usmjerene na energijsku gustinu.
- pristupi optimizacije:
 - Dinamička optimizacija zasnovana na elektrohemijским modelima
 - Optimizacija zasnovana na unaprijed definisanim strujama

13. UPRAVLJANJE TOPLITOM I TERMIČKA SIGURNOST

- Temperatura ima značajan uticaj na kapacitet, impedanciju, maksimalnu stopu punjenja/praznjenja i degradaciju litijum-jonske baterije.
- Termalni gradijenti ubrzavaju nejednakost unutar baterije i negativno utiču na njene performanse.
- Generalno, efekti temperature na električna vozila su:
 - performanse praznjenja su pogoršane na niskim temperaturama,
 - degradacija se ubrzava na visokim temperaturama,
 - nejednakost unutar baterije može rasti, sigurnost i pouzdanost se smanjuju.

Uticaj temperature na performanse i sigurnost litijum-jonskih baterija



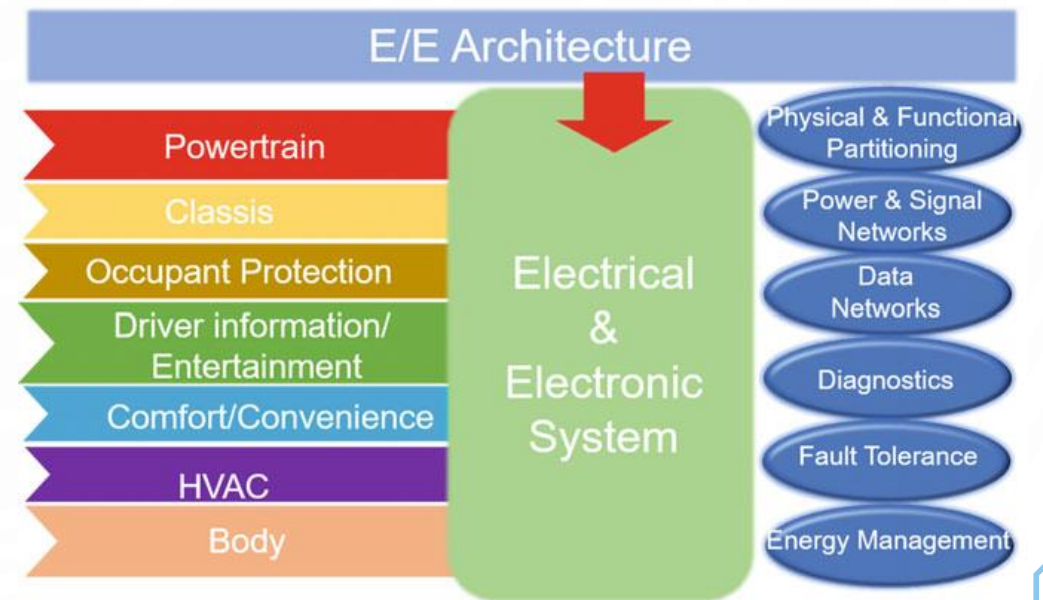
14. INTERNA I EKSTERNA KOMUNIKACIJA

Prenos podataka je jedan od najvažnijih dijelova BMS-a.

- Pored real-time komunikacije između glavne ploče (motherboard) i pomoćne ploče (slave board), BMS prima komunikacione ulaze od kontrolera vozila, kontrolera punjenja, DCDC konvertera, instrument table, gateway-a, motora itd.
- Do sada se za spoljnu komunikaciju koristi CAN (Controller Area Network). CAN je serijski komunikacioni protokol koji podržava distribuiranu kontrolu ili real-time kontrolu.
- Za internu komunikaciju koriste se CAN i daisy chain.
 - CAN je robustan, ali skup.
 - Daisy chain nije pogodan za komunikaciju na velike udaljenosti i češće se primjenjuje u HEV vozilima.
- Bežična komunikacija ili komunikacija preko naponske linije (power line carrier) mogu se implementirati na inteligentnim baterijskim modulima.
- Oba pristupa smanjuju prostor potreban za BMS i pojednostavljaju unutrašnja električna kola.

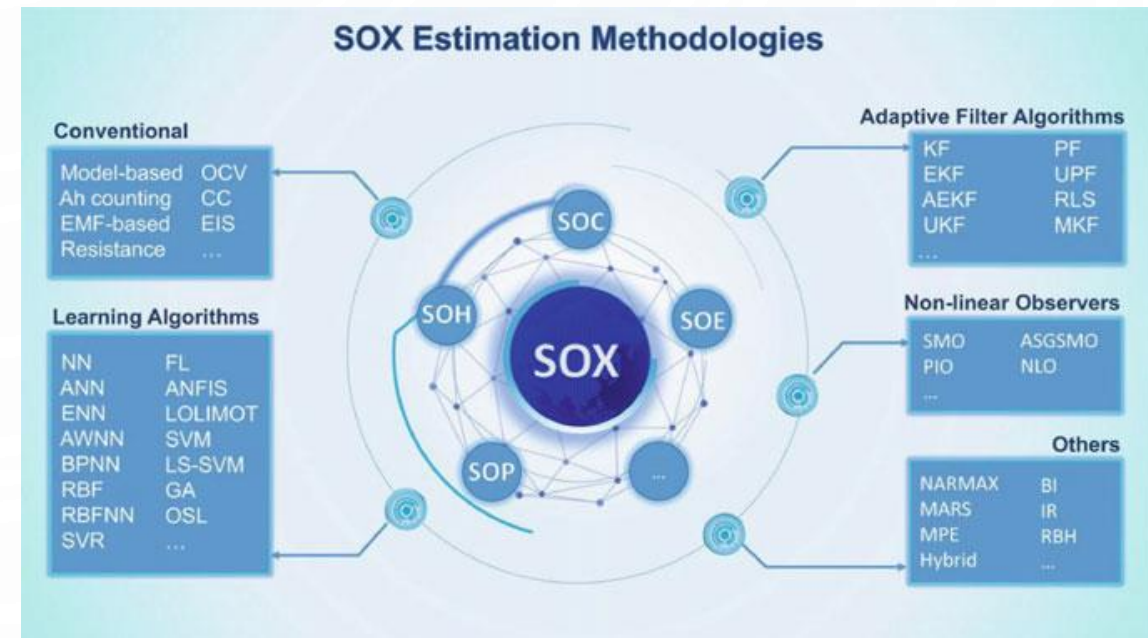
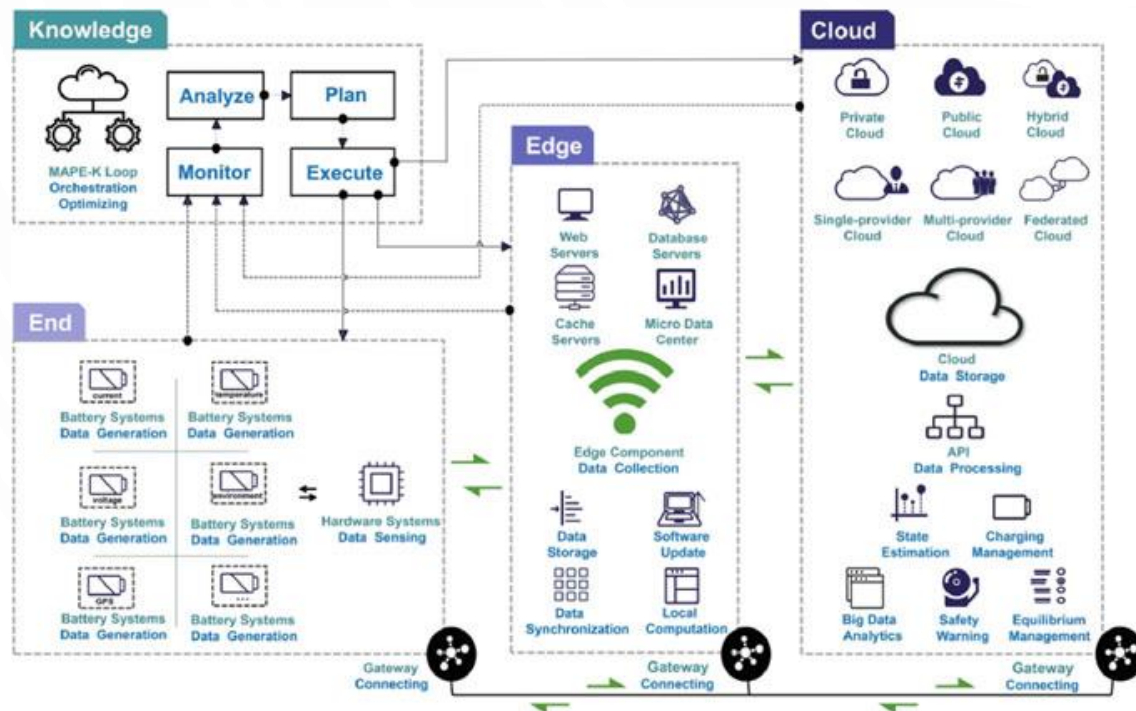
15. SISTEM ZA UPRAVLJANJE BATERIJOM U OBLAKU

- Inteligentni sistem za upravljanje baterijama predstavlja ključni faktor za sisteme za skladištenje energije sa visokim izlazom snage, povećanom sigurnošću i dugim vijekom trajanja.
- Sa nedavnim razvojem cloud computing-a i širenjem big data, pristupi mašinskog učenja počeli su da pružaju neprocjenjive uvide, što omogućava adaptivnu kontrolu BMS-a sa poboljšanim performansama.
- Cloud-based BMS koristi CHAIN (Cyber Hierarchy and Interactional Network) okvir kako bi pružio višeskalne uvide. Korišćenjem naprednijih i efikasnijih algoritama moguće je realizovati:
 - procjenu stanja baterije (state-of-X estimation),
 - termalno upravljanje,
 - balansiranje ćelija,
 - dijagnostiku kvarova,
 - druge funkcije koje tradicionalno obavlja BMS sistem.



15. SISTEM ZA UPRAVLJANJE BATERIJOM U OBLAKU

- Modul i funkcije Cloud sistema za upravljanje baterijama (Cloud BMS)





Univerzitet u Istočnom Sarajevu
Elektrotehnički fakultet
Bosna i Hercegovina