



ELEKTROMOBILLARNING QAYTA TIKLANUVCHI ENERGIYASINI TADQIQ QILISH

Usmonov Zafar Tursunovich

Toshkent davlat transport universiteti

Abduraxmonov Abbos Ikromjon o'g'li

Toshkent davlat transport universiteti

Annatsiya. Mazkur maqolada elektromobillarning energiya sarfini aniqlash uslubi nazariy va amaliy jihatdan tadqiq etilgan. Hisoblash metodikasi avtomobilga ta'sir etuvchi asosiy dinamik kuchlar asosida shakllantirilgan bo'lib, ularning matematik modeli ishlab chiqilgan. Model doirasida elektromobilning umumiy energiya sarfi hamda rekuperativ tormozlanish jarayonida qayta tiklanadigan energiya miqdori aniqlangan. Tadqiqot MATLAB/Simulink dasturiy muhiti asosida amalga oshirilib, NEDC harakat siklida modellastirilgan. Olingan natijalar elektromobilning umumiy energiya iste'moli, qayta tiklanadigan energiya ulushi va akkumulyator quvvatining o'zgarishini baholash imkonini beradi..

Kalit so'zlar. elektromobil, energiya sarfi, rekuperativ tormozlanish, tortish kuchi, inersiya kuchi, aerodinamik qarshilik, g'ildirashga qarshilik, MATLAB/Simulink, NEDC harakat sikli.

Kirish

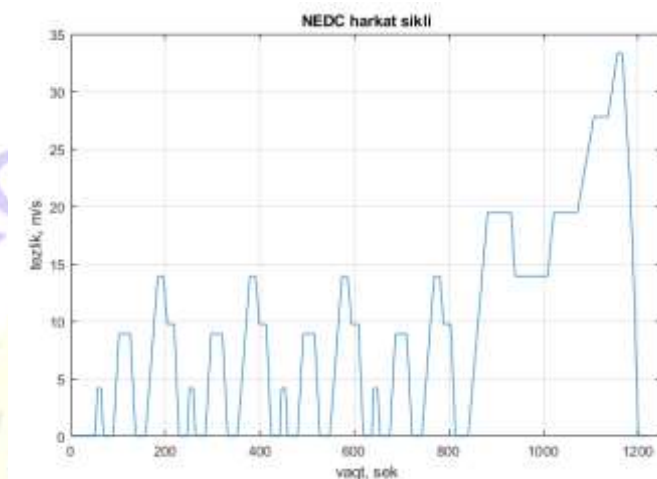
So'nggi yillarda dunyo miqyosida ekologik muammolarning keskinlashuvi va an'anaviy yoqilg'i resurslarining kamayib borishi elektromobillarga bo'lgan qiziqishni sezilarli darajada oshirdi. Elektromobillar ichki yonuv dvigatelli transport vositalariga nisbatan yuqori energetik samaradorlik va atrof-muhitga minimal zarar yetkazishi bilan ajralib turadi.

Elektromobil harakati davomida akkumulyatorda jamlangan elektr energiyasi mexanik energiyaga aylantiriladi. Harakat jarayonida transport vositasiga turli xil qarshilik kuchlari ta'sir qiladi va ushbu kuchlarni yengish uchun ma'lum miqdorda energiya



sarflanadi. Shu sababli elektromobilning energiya iste'molini aniqlashda unga ta'sir etuvchi barcha kuchlarni kompleks hisobga olish muhim ahamiyatga ega.

Mazkur tadqiqotda energiya sarfini aniqlash uchun NEDC (New European Driving Cycle) harakat sikli kirish parametri sifatida qabul qilindi. Ushbu sikl real sharoitdagi tezlanish, tormozlanish va doimiy tezlik rejimlarini modellashtirish imkonini beradi.



1-rasm. NEDC xarakat sikli

NEDC harakat siklinidan kirish paramert sifatida elektromobilning tezligini olish mumkin. Harakat siklida avtomobil tezlanish, ozgarmas tezlik va sekinlanish rejimlarida harakatlanadi. Tezlanish va o'zgarmas tezlik bilan harakatlanganda energiya sarflanadi, selinlanish boshlanganda elektromobil energiyani qayta to'playdi [4].

Matematik model quyidagi tenglamalar asosida MATLAB/Simulink dasturida blok - diagramma sifatida amalga oshiriladi.

Avtomobil harakatini ifodalovchi kuchlar tenglamasi [1]:

$$F_t = F_i + F_s + F_f + F_a \quad (1)$$

bu yerda:

F_t [N] - tortish kuchi

F_i [N] - inersiya kuchi

F_s [N] – qiyalikga chiqishga qarshilik kuchi

F_f [N] – g'ildirashga qarshilik kuchi

F_a [N] - aerodinamik qarshilik kuchi



Avtomobilni oldinga siljitishga harakat qiladigan tortish kuchini "ijobiy" kuch deb hisoblash mumkin. Boshqa barcha kuchlar qarshilik ko'rsatadigan "manfiy" kuchlar, ular avtomobilni sekinlashtirishga harakat qiladi [2]. Qachonki tortish kuchi qarshilik kuchlaridan yuqori bo'lsa, avtomobil tezlashadi. Qachonki tortishish kuchi qarshilik kuchlari yig'indisidan kichik bo'lsa, avtomobil sekinlashadi. Qachonki tortishish kuchi qarshilik kuchlarining yig'indisiga teng bo'lsa, mashina doimiy tezlikni saqlaydi [5]. Inersiya kuchi [N] quyidagi tenglama bilan berilgan [9]:

$$F_i = m_a \cdot a \quad (4)$$

Bu yerda:

m_a [kg] - avtomobilning umumiy massasi

a [m/s²] - avtomobil tezlanishi

Umumiy avtomobil massasi [kg] shaylangan avtomobil massasi, haydovchining massasi va qo'shimcha massa faktoridan iborat [4]. Massa faktori aylanadigan komponentlarning avtomobilning umumiy massasiga ta'sirini hisobga oladi [10].

$$m_a = f_m \cdot m_{sh} + m_h \quad (5)$$

bu yerda:

f_m [-] - massa omili

m_{sh} [kg] - shaylangan avtomobil massasi

m_h [kg] - haydovchi massasi

Avtomobilning tezlashishini quyidagicha hisoblash mumkin [6]:

$$a = \frac{dv}{dt}$$

bu yerda:

dv [m/s] – tezlik farqi

dt [s] – vaqt farqi

Qiyalikga chiqishga qarshilik kuchi [N] tenglama bilan berilgan:

$$F_s = m_a \cdot g \cdot \sin(\alpha_s) \quad (6)$$

Bu yerda:



$g [m/s^2]$ - gravitatsion tezlanish

$\alpha_s [rad]$ - yo'l qiyalik burchagi

G'ildirashga qarshilik kuchi $[N]$ tenglama bilan berilgan:

$$F_f = m_a \cdot g \cdot f \cdot \cos(\alpha_s) \quad (7)$$

bu yerda:

$f [-]$ - ishqalanish koeffitsienti

Aerodinamik kuchi $[N]$ tenglama bilan berilgan:

$$F_a = 0.5 \cdot \rho \cdot c_x \cdot A \cdot v^2 \quad (8)$$

bu yerda:

$\rho [kg / m^3]$ - havo zichligi $20^\circ C$ da

$c_x [-]$ - suyirlik koeffitsiyenti

$A [m^2]$ - avtomobil old yuzi

$v [m / s]$ - avtomobil tezligi

Umumiy quvvat $P_t [Wt]$

$$P_t = F_t \cdot v$$

Vaqt bo'yicha jami quvvatni birlashtirib (siklning butun davomiyligi uchun) **umumiy energiya** sarfini $E_t [7]$.

$$E_t = \int P_t \cdot dt = \int (F_f + F_s + F_a + F_i) \cdot v \cdot dt$$

Avtomobilning o'rtacha energiya iste'moli $E_{or} [Vt/km]$ NEDC sikli bo'yicha hisoblanadi. Elektromobilning sikl bo'yicha umumiy energiya sarfini xisoblashdan oldin rekurperatsiya vaqtidagi energiyani xisoblab olinadi [10].

$$E_{regen} = \int_{a \leq 0} P_t \cdot dt$$

Tortish rejimidagi energiya sarfini avtomobilning tezlanishi no'ldan kata bo'lganda xisoblanadi [8].

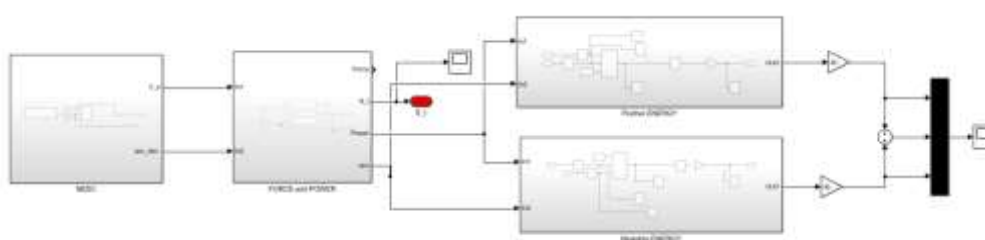
$$E_t = \int_{a \geq 0} P_t \cdot dt$$



$$E_{umumiy} = E_t - E_{regen}$$

Bu erda P_r [kVt/tonna] **quvvat-og'irlik nisbati** bo'lib, nominal dvigatel quvvati va avtomobil massasi o'rtasidagi nisbat sifatida aniqlanadi [9].

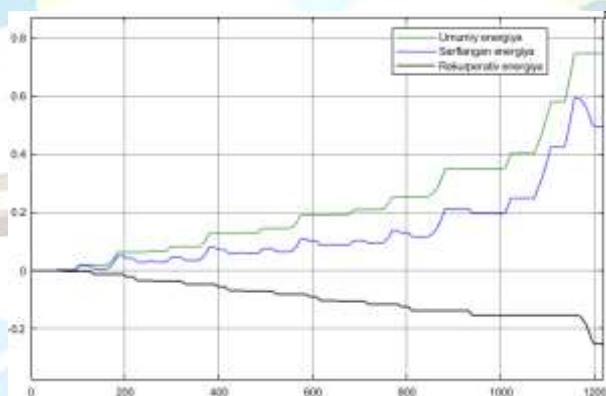
$$P_r = \frac{P_{max}}{m_a}$$



2-rasm. Elektromobilning energiya sarfini xisoblash blok-sxemasasi.

Elektromobillarning muhim afzalliklaridan biri — sekinlanish vaqtida kinetik energiyani qayta tiklash imkoniyatidir. Agar tezlanish manfiy qiymatga ega bo'lsa ($a < 0$), tortish dvigateli generator rejimida ishlaydi va energiya akkumulyatorga qaytariladi.

Rekuperatsiya jarayonida qayta tiklanadigan energiya miqdori tormozlanish intensivligi, dvigatel samaradorligi va inverter yo'qotishlariga bog'liq. Modelda ushbu jarayon ham hisobga olingan.



3-rasm. NEDC harakat siklida energiya sarfining grafifi.

3-rasmda elektromobilning NEDC harakat sikli davomida energiya sarfining vaqt bo'yicha o'zgarish grafifi keltirilgan. Grafikdan ko'rinadiki, energiya iste'moli harakat rejimiga bevosita bog'liq holda o'zgaradi.

Siklning tezlanish bosqichlarida energiya sarfi keskin ortadi. Buning sababi avtomobilning inersiya kuchini yengish hamda qisqa vaqt ichida tezlikni oshirish uchun

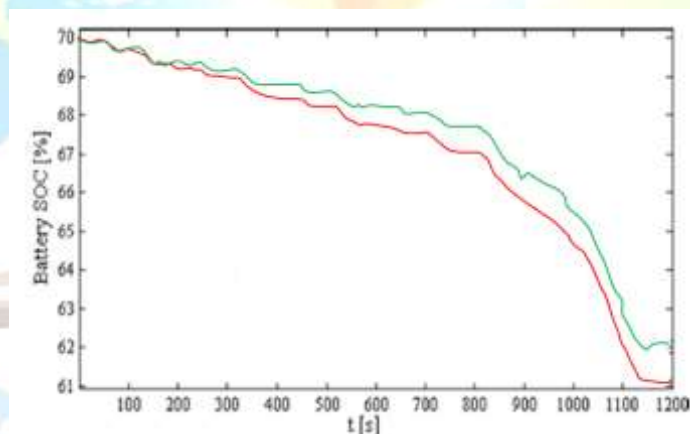


yuqori tortish quvvati talab etilishidir. Ayniqsa, past tezlikdan tezlanish jarayonida dvigatel maksimal moment rejimiga yaqin ishlaydi, natijada quvvat iste'moli yuqori qiymatlarga erishadi.

Doimiy tezlik bilan harakatlanish bosqichida energiya sarfi nisbatan barqarorlashadi. Ushbu rejimda energiya asosan g'ildirashga qarshilik va aerodinamik qarshilik kuchlarini yengishga sarflanadi. Tezlik ortishi bilan aerodinamik qarshilik kvadratik qonuniyat asosida oshgani sababli yuqori tezlik oralig'ida energiya sarfi ham mos ravishda ortib boradi.

Sekinlanish (tormozlanish) bosqichlarida esa grafikda energiya sarfining kamayishi yoki manfiy qiymatlarga o'tishi kuzatiladi. Bu holat rekuperativ tormozlanish jarayoni bilan izohlanadi. Mazkur jarayonda elektromobilning kinetik energiyasi elektr energiyasiga aylantirilib, akkumulyator batareyasiga qaytariladi. Natijada umumiy energiya iste'moli kamayadi va tizimning energetik samaradorligi oshadi.

Shunday qilib, grafik elektromobilning energiya iste'moli dinamik xarakterga ega ekanligini va u harakat siklining har bir bosqichida turlicha qiymatga ega bo'lishini ko'rsatadi. Ushbu natijalar ishlab chiqilgan matematik modelning harakat jarayonini yetarli aniqlikda ifodalayotganini tasdiqlaydi.



4-rasm. Elektromobil akkumlyatori quvvatining kamayish grafigi.

Simulatsiya natijasida Elektromobil NEDC sikli bo'yicha 750 J energiya is'temol qilib, rekuperativ tormozlanish ya'ni sekinlanish vaqtida 250 J energiyani qayta tiklagan. Umumiy energiya safi esa 500 J ni tashkil qiladi. Akkumlyator batareyasining quvvati sikl davomida 12 % ni tejalganini ko'rish mumkin.

Xulosa



Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatdiki, elektromobil energiya sarfini aniqlashda unga ta'sir etuvchi barcha dinamik kuchlarni kompleks hisobga olish zarur. Ishlab chiqilgan matematik model NEDC harakat siklida elektromobilning energiya iste'molini hamda rekuperativ tormozlanish samaradorligini aniqlash imkonini berdi.

Rekuperativ tizim yordamida umumiy energiya sarfini kamaytirish mumkinligi eksperimental modellashirish orqali tasdiqlandi. Kelgusida modelni WLTP kabi zamonaviy harakat sikllariga moslashtirish va real yo'l sharoitida eksperimental tekshirish maqsadga muvofiqdir.

Adabiyotlar

1. Chan, C. C. (2007). The state of the art of electric, hybrid, and fuel cell vehicles. *Proceedings of the IEEE*, 95(4), 704–718.
2. Ehsani, M., Gao, Y., Longo, S., & Ebrahimi, K. (2018). *Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles: Fundamentals, Theory, and Design* (3rd ed.). CRC Press.
3. Gillespie, T. D. (1992). *Fundamentals of Vehicle Dynamics*. SAE International.
4. Larminie, J., & Lowry, J. (2012). *Electric Vehicle Technology Explained* (2nd ed.). Wiley.
5. Miller, J. M. (2004). *Propulsion Systems for Hybrid Vehicles*. IET Publishing.
6. Plett, G. L. (2015). *Battery Management Systems, Volume I: Battery Modeling*. Artech House.
7. Rajamani, R. (2012). *Vehicle Dynamics and Control* (2nd ed.). Springer.
8. Tie, S. F., & Tan, C. W. (2013). A review of energy sources and energy management system in electric vehicles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 20, 82–102.
9. Zhang, X., Mi, C. C., Masrur, M. A., & Daniszewski, D. (2011). Wavelet-based power management for plug-in hybrid electric vehicles. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 60(8), 3569–3578.
10. European Commission. (1999). *NEDC – New European Driving Cycle*. Official Journal of the European Communities.