

UO‘K 629.331

**KETMA-KET GIBRID YURITMAGA EGA BO‘LGAN AVTOMOBIL BOSHQARUV
REJIMLARINI ISHLAB CHIQISH****Keldiyarova Malika Shuhrat qizi**¹- doktorant (PhD),

e-mail: malika.keldiyarova1995@gmail.com

Ruzimov Sanjarbek Komilovich² - texnika fanlari doktori, dotsent,e-mail: sanjar.ruzimov@gmail.com¹Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent sh., O‘zbekiston²Toshkent shahridagi Turin politexnika universiteti, Toshkent sh., O‘zbekiston

Annotatsiya. Hozirgi kunda, havodagi chiqindi gazlarni kamaytirish va minimal yonilg‘i sarfiga erishish maqsadida gibrid yuritmalı avtomobillarni ishlab chiqarish yuqori suratlarda o‘smoqda. Gibrid yuritmalı avtomobillarni loyihalashda ketma-ket, parallel va aralash sxemalaridan foydalaniladi. Bu maqolada ketma-ket sxemaga ega bo‘lgan gibrid yuritmalı avtomobillar uchun qonuniyatlarga asoslangan boshqaruv rejimini ishlab chiqish uslubi keltirilgan.

Kalit so‘zlar: gibrid yuritma, ketma-ket sxema, ichki yonuv dvigateli, generator, elektr batareya, boshqaruv rejimlari.

UDC 629.331

**DEVELOPMENT OF CONTROL STRATEGIES FOR SERIES HYBRID ELECTRICAL
VEHICLES****Keldiyarova Malika Shuhrat qizi**¹ –Doctoral student (PhD),

e-mail: malika.keldiyarova1995@gmail.com

Ruzimov Sanjarbek Komilovich² – Doctor of Technical Sciences, docent,e-mail: sanjar.ruzimov@gmail.com¹Tashkent state transport university, Tashkent city, Uzbekistan²Turin polytechnic university in Tashkent, Tashkent city, Uzbekistan

Abstract. In these days, manufacturing of hybrid electrical vehicles is increasing at a high level in order to achieve minimal emissions and fuel consumption. Series, parallel and combined configurations are used to design hybrid electrical vehicles. This study describes the method for development of a rule-based control strategy of series hybrid electrical vehicle.

Key words: hybrid, series structure, internal combustion engine, generator, electric battery, control modes.

УДК 629.331

**РАЗРАБОТКА РЕЖИМОВ УПРАВЛЕНИЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ГИБРИДНОГО
ПРИВОДА АВТОМОБИЛЯ****Келдиярова Малика Шухрат кизи**¹ – докторант (PhD),

e-mail: malika.keldiyarova1995@gmail.com

Рузимов Санжарбек Комилович² - доктор технических наук, доцент,e-mail: sanjar.ruzimov@gmail.com¹Ташкентский государственный университет транспорта, г. Ташкент, Узбекистан² Туринский политехнический университет в городе Ташкенте, Узбекистан

Аннотация. В наши дни наблюдается рост высокими темпами производства гибридных электромобилей, чтобы добиться минимальных выбросов и расходов топлива на автомобиле. Последовательные, параллельные и комбинированные конфигурации тягового привода используются при разработке гибридных электромобилей. В данной статье описывается метод разработки режима управления последовательного гибридного привода автомобиля, основанный на правилах.

Ключевые слова: гибридный привод, серийная структура, двигатель внутреннего сгорания, генератор, аккумуляторная батарея, режимы управления.

Kirish

Gibrid yuritmalı avtomobillarda elektr batareyasi va ichki yonuv dvigatelidan avtomobilning harakatini ta'minlash uchun ikki quvvat manbai sifatida foydalanish murakkab bo'lgan boshqaruv algoritmini talab qiladi [1, 2]. Albatta, bu kabi avtomobillar elektron boshqaruv blokiga (EBB) ega bo'lib, u avtomobilning boshqaruv rejimlarini belgilaydi. Bu murakkab jarayonni avtomobilning imitatsion modelini qurish orqali tadqiq qilish mumkin. Bu modelda, EBB elektr mashinasi blokidan keyin joylashgan bo'lib, avtomobil harakatlanishi uchun zarur bo'lgan quvvatni, elektr batareyasining zaryadlanganlik darajasi va avtomobilning tezligiga asoslanib, generator va elektr batareyasi orqali elektr mashinasiga yetkazib berilishini ta'minlaydi [2]. Hozirgi kunda butun jahonda, avtomobillarning yonilg'i sarfini va havoning ifloslanishini kamaytirish maqsadida ishlab chiqaruvchilar avtomobil gibrid yuritmasini loyihalashda yanada chuqurroq tadqiqotlar olib borishga alohida ahamiyat qaratishmoqda. Gibrid yuritmalı avtomobillarda yuqori samaradorlikka erishish uchun boshqaruv rejimlarini ishlab chiqish maqsadida ko'pgina taniqli olimlar tomonidan tadqiqotlar olib borilmoqda.

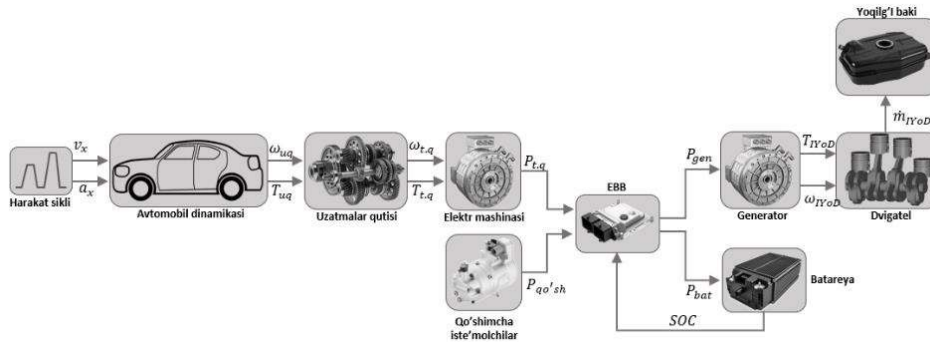
Bu maqolada ketma-ket gibrid yuritmaga ega bo'lgan avtomobilning MATLAB/Simulink dasturiy ta'minotida tuzilgan imitatsion modeli va qoidalarga asoslangan boshqaruv rejimi keltirilgan [3]. Tadqiqot ob'ekti sifatida BMW i3 2014 rusumli avtomobil texnik ko'rsatkichlaridan foydalanilgan va dunyoning yetakchi laboratoriyalari tomonidan o'tkazilgan eksperimental tadqiqot natijalari bilan taqqoslangan [4].

Tadqiqot usuli

Ushbu maqolda ketma-ket sxemaga ega bo'lgan gibrid yuritmalı avtomobil harakatining imitatsion modeli, teskari modellashtirish uslubiga ko'ra MATLAB/Simulink dasturida yaratilgan. Tadqiqot ob'ekti sifatida BMW i3 2014 rusumli avtomobilning texnik ko'rsatkichlaridan foydalanilgan bo'lib ushbu avtomobil uchun qoidalarga asoslangan uslub orqali boshqaruv rejimlari ishlab chiqilgan. Natijalar dunyoning yetakchi laboratoriyalarida olingan eksperimental natijalar bilan solishtirilgan.

Ketma-ket gibrid yuritmalı avtomobil harakat modeli

Gibrid yuritmalı avtomobil harakati modeli teskari modellashtirish yondashuviga asoslangan bo'lib, harakatlanishning me'yoriy sikl bo'yicha tezlik profilini kiritish orqali avtomobil g'ildiraklaridagi tortish kuchi aniqlanadi [5]. Keyingi qadamlarda, elektr mashina tomonidan hosil qilingan burovchi moment va burchak tezlik yordamida talab etilgan quvvat hisoblanadi. Avtomobilning tortish yoki tormozlanishi uchun talab qilinadigan quvvati (P_{req}) va avtomobil qo'shimcha yuklamalariga sarflanadigan quvvati (P_{aux}) yig'indisi EBB orqali elektr batareyasi (P_{bat}) va generator (P_{gen}) o'rtasida taqsimlanadi. Ketma-ket gibrid yuritmalı avtomobilning imitatsion modeli va model bloklarining o'zaro ma'lumot almashinuvi 1-rasmda ko'rsatilgan.



1-rasm. Teskari modellashirish yondashuviga asoslangan avtomobil harakat modeli [6]

MATLAB/Simulink dasturida avtomobilning imitatsion modeli qurishda BMW i3 2014 rusumli gibrid yuritmal avtomobilning texnik ko'rsatkichlaridan foydalanilgan. BMW i3 2014 avtomobilining umumiy massasi 1390 kg bo'lib, 125 kVt quvvatli elektr mashinasi, 25 kVt ichki yonuv dvigateli, 26.6 kVt generator va 18.8kVt·soat sig'imli elektr batareyasiga ega [6, 7].

Qoidalarga asoslangan boshqaruv rejimlari

Gibrid yuritmal avtomobillar elektr batareyasi ma'lum bir chegaraviy qiymatgacha razryadlanadi va bu vaqtga qadar avtomobil to'liq elektromobil holatida ishlaydi. Elektr batareyasining zaryadi chegaraviy qiymatdan kamayganda avtomobil gibrid holatda ishlay boshlaydi ya'ni dvigatel ishga tushadi [8]. Avtomobil harakatlanishi davomida tortish yoki tormozlanish holatida bo'lishi mumkin. Quyida, har ikkala holat uchun qoidalarga asoslangan boshqaruv rejimlari ko'rsatilgan.

Tortish holati uchun boshqaruv rejimlari

AQSHning Argon Milliy Laboratoriyasining (Argonne National Laboratory) eksperimental natijalarga asoslanib [9] avtomobilning tortish holati olti xil boshqaruv usuliga taqsimlash mumkin bo'lib ular avtomobil tezligi va elektr batareyasining zaryadlanganlik darajasiga (SOC) ko'ra aniqlanadi. Bu harakatlanish rejimlari avtomobil elektr batareyasi zaryadlanganlik darajasining 4 ta qiymatlari ($SOC_{min} \leq 13,5 \%$, $SOC_{mid} = 15,5 \%$, $SOC_{cheg} \leq 16 \%$ va $SOC_{max} = 98 \%$) va avtomobil harakat tezligining 2 ta qiymatlari ($V_{min} = 6,5 \text{ km/soat}$ va V_{max}) orqali aniqlanadi. Bu qiymatlarga asosan, quyidagi rejimlar kelib chiqadi [8].

Rejim(1): Elektromobil rejimi. Bu rejimda avtomobil elektr batareyasining zaryadlanganlik darajasi (SOC) chegaraviy qiymatidan yuqori ($SOC \geq SOC_{cheg}$), shuning uchun IYoD o'chgan ($\omega_{IYoD} = 0$, $T_{IYoD} = 0$) va elektr mashinasi avtomobil harakatlanishi uchun talab etilgan quvvatni to'liq elektr batareyasidan qabul qiladi.

Rejim(2): IYoD past rejimi. Avtomobil harakat tezligi $V > V_{min}$ va $SOC_{mid} \leq SOC < SOC_{max}$, avtomobil dvigateli past burchak tezlikda va burovchi momentda ishlashni boshlaydi ($\omega_{IYoD} = \omega_{past}$, $T_{IYoD} = T_{past}$).

Rejim(3): Quyi SOC rejimi. Agar $SOC < SOC_{min}$ bo'lsa, avtomobil tezligidan ahamiyatsiz holda, elektron boshqaruv bloki avtomobil dvigateli avtomobilning harakati uchun talab qilingan quvvatni hamda elektr batareyasini zaryadlashni so'raydi. Shuning uchun, dvigatel yuqori tezlikda va yuqori burovchi momentda ishlaydi ($\omega_{IYoD} = \omega_{yuqori}$, $T_{IYoD} = T_{yuqori}$).

Rejim(4): IYoD o'chgan rejimi. Agar $V \leq V_{min}$ va $SOC > SOC_{min}$ bo'lsa, dvigatel o'chgan holatda bo'ladi ($\omega_{IYoD} = 0$, $T_{IYoD} = 0$).

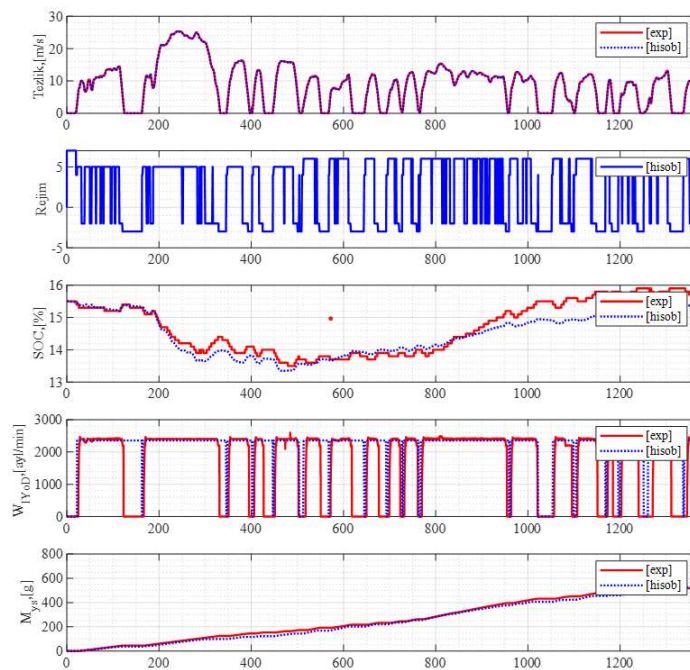
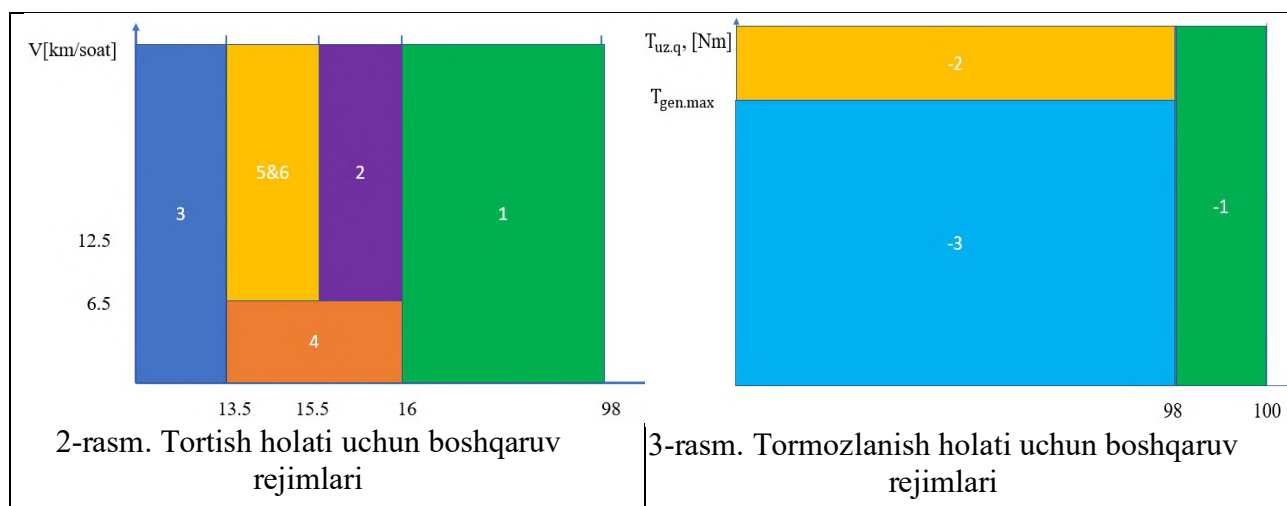
Rejim(5): Yuqori yuklanish rejimi: Agar $V > V_{min}$ va $SOC_{min} < SOC \leq SOC_{mid}$ bo'lsa, batareya avtomobil harakatlanishi uchun hech qanday quvvat yetkazib bermoqda. Avtomobil dvigateli talab etilgan quvvatni to'liq yetkazib beradi ($\omega_{IYoD} = \omega_{orta}$, $T_{IYoD} = T_{yuqori}$). Bu rejim $t_{cheg} = 500 \text{ s}$ gacha davom etadi.

Rejim(6): O'rta yuklanish rejimi: Bu rejim, rejim(5) ga o'xshab ishlaydi ammo 500 s vaqtdan keyin faol holatga keladi.

2-rasmda avtomobilning tortish holati uchun olti xil boshqaruv rejimlari elektr batareyasining zaryadlanganlik darajasiga va avtomobilning tezligiga bog‘liq holda o‘zgarishi ko‘rsatilgan.

Avtomobil tormozlanish holati uch xil boshqaruv rejimida ishlaydi hamda elektr batareyasining zaryadlanganlik darajasi va generatorning burovchi momenti qiymatiga bog‘liq holda o‘zgaradi. Tormozlanish holatidagi boshqaruv rejimlari quyidagi rejimlarni o‘z ichiga oladi: friksion tormozlanish, rekuperativ tormozlanish va aralash tormozlanish.

Rejim(-1). Friksion tormozlanish. Bu rejimda elektr batareyasi to‘liq zaryadlangan ($SOC > SOC_{max}$), rekuperativ tormozlanishdan foydalanilmaydi. Shuning uchun, zarur bo‘lgan tormozlovchi moment friksion tormozlanish orqali hosil qilinadi ($T_{em} = 0, T_{uq.fr} = T_{fr}$).



4-rasm. Hisob va tajriba tadqiqotlari natijalarini UDSS shahar sikli uchun taqqoslash: Avtomobil tezligi [m/s], boshqaruv rejimi tartib raqami, elektr batareyasining zaryadlanganlik darajasi [%], IYoD burchak tezligi (ayl/min) va sikl davomidagi yonilg‘i sarfi [g]. Natijalar 35 °C haroratda taqqoslangan.

Rejim(-2). Aralash tormozlanish. Agar $SOC < SOC_{max}$ bo‘lsa zarur bo‘lgan tormozlanish momenti elektr mashinasi generator holatida ishlaydigan maksimal momentdan yuqori bo‘ladi $T_{uq} > T_{gen.max}$ va aralash tormozlanish rejimi faol holatda bo‘ladi ($T_{em} = T_{gen.max}, T_{uq.fr} = T_{uq} - T_{gen.max}$).

Rejim(-3). To'liq rekuperativ tormozlanish. Agar elektr mashinasi zarur bo'lgan tormozlanish momentini to'liq yetkazib bersa va elektr batareyasi to'liq zaryadlanmagan holatda, tormozlanish faqat rekuperativ bo'ladi ($T_{em} = T_{uq}, T_{uq.fr} = 0$).

Avtomobil tormozlanish holati uchun harakat rejimlarining o'zgarishi 3-rasmda keltirilgan.

Eksperimental natijalar

Qoidalarga asoslanib ishlab chiqilgan boshqaruv strategiyasi asosida qurilgan MATLAB/Simulink dasturidagi imitatsion modelning ishonchliligini baholashda, hisob natijalar dunyoning yetakchi laboratoriyasi hisoblangan Argon milliy laboratoriyasida (ANL) o'tkazilgan eksperimental tadqiqot natijalari bilan taqqoslangan [9]. Bu eksperimental natijalar BMW i3 2014 rusumli avtomoblining dinamometrik stendda turli harakat sikllarida hamda 35 °C, 22 °C va -7 °C haroratlarda UDSS shahar sikli uchun o'tkazilgan sinovlar natijasida olingan [9]. 4-rasmda avtomobil asosiy ko'rsatkichlarining hisob va eksperiment natijalari tashqi muhit 35 °C harorati uchun taqqoslangan. Imitatsion modelda elektr mashinasi foydali ish koeffitsiyenti xaritasi [10] va elektr batareyasining [11] eksperimental tavsiflaridan foydalanilgan. Natijalar, avtomobil elektr batareyasining zaryadlanganlik darajasi va IYoD ning yonilg'i sarfi turli harakat sikllarida eksperiment va hisob natijalari orasidagi farq mos ravishda 3 % va 10 % dan oshmasligini ko'rsatdi.

Xulosa

Ketma-ket hibrid yuritmal avtomobilning imitatsion modeli MATLAB/Simulink dasturida ishlab chiqildi va bu turdagi avtomobillar uchun boshqaruv rejimi ishlab chiqildi. Avtomobil elektr batareyasining zaryadlanganlik darajasiga va tezligiga ko'ra tortish holatida 6 ta rejimda, tormozlanish holatida esa 3 ta rejimda ishlashi tadqiq qilindi. Modelning hisob natijalari Argon milliy laboratoriyasida BMW i3 2014 rusumli hibrid yuritmal avtomobil ustida o'tkazilgan eksperimental natijalar bilan taqqoslandi. Natijada, avtomobil elektr batareyasining zaryadlanganlik darajasi va IYoD ning yonilg'i sarfi eksperiment va hisob natijalari orasidagi farq mos ravishda 3 % va 10 % dan oshmasligi ko'rsatildi.

Adabiyotlar

- [1] A. Emadi, Ed., Advanced Electric Drive Vehicles. CRC Press, 2014
- [2] L. Guzzella and A. Sciarretta, Vehicle Propulsion Systems. Springer Berlin Heidelberg, 2013.
- [3] <https://www.mathworks.com/discovery/modeling-and-simulation.html>
- [4] <https://www.auto123.com/en/new-cars/technical-specs/bmw/i3/2014/base/base>
- [5] Mohan, F. Assadian, and S. Longo, "Comparative analysis of forward-facing models vs backward-facing models in powertrain component sizing," Hybrid and Electric Vehicles Conference 2013 (HEVC 2013). Institution of Engineering and Technology, 2013 [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1049/cp.2013.1920>
- [6] M.Keldiyarova, S.Ruzimov, A.Bonfitto, A.Muhitdinov., "Comparison of two control strategies for range extender hybrid electric vehicles", 2022 International Symposium on Electromobilyty.
- [7] BMW i3 Range Extender to Offer Up to 87 More Miles, Decreases Performance - Inside EVs, <http://insideevs.com/bmw-i3-range-extender-to-offer-up-to-87-more-miles-decreases-performance/>, Oct. 2016.
- [8] J. Jeong, W. Lee, N. Kim, K. Stutenberg, and A. Rousseau, "Control Analysis and Model Validation for BMW i3 Range Extender," SAE Technical Paper Series. 2017
- [9] <https://www.anl.gov/taps/d3-2014-bmw-i3rex> (Accessed:08 July, 2022)
- [10] Miri, A. Fotouhi, and N. Ewin, "Electric vehicle energy consumption modelling and estimation—A case study," International Journal of Energy Research, vol. 45, no. 1. Wiley, pp. 501–520, Jul. 12, 2020
- [11] <https://avt.inl.gov/sites/default/files/pdf/phev/batteryi3436.pdf>