

<https://doi.org/10.31649/1997-9266-2022-162-3-31-35>

УДК 621.311.1.018.3

В. В. Горенюк¹
Б. І. Мокін¹
О. Б. Мокін¹

ПЕРСПЕКТИВИ РЕАЛІЗАЦІЇ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ ВОДІЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ

¹Вінницький національний технічний університет

Запропоновано варіант реалізації системи підтримки прийняття рішень для водія електромобіля, що керує ним під час руху дорогою в горизонтальній площині, під час руху дорогою на спуск та на підйом за різного кута нахилу, в основу якого покладено синтезовані авторами математичні моделі оптимального руху за критерієм мінімуму споживання заряду енергії бортової силової акумуляторної батареї за частотного керування режимами роботи короткозамкнутого асинхронного електродвигуна, який є тяговим в системі привода електромобіля, з використанням варіаційного варіанта методу Лагранжа та математичної моделі кривої намагнічування у вигляді оберненого гіперболічного синуса, яка з високою точністю зв'язує між собою електричний струм в обмотці статора асинхронного двигуна з магнітним потоком, який створюється полем цього струму а також математичні моделі визначення швидкості руху по закругленню дороги автомобілів як з двигунами внутрішнього згорання, так і з електричним приводом, не перевищення якої унеможливило їх занос чи перевертання, котрі синтезовані як на основі балансних рівнянь його кінематики, так і на основі балансних рівнянь його динаміки.

Проведено аналіз бортових електронних систем сучасних автомобілів та виявлено, що для реалізації запропонованої системи підтримки прийняття рішення для водія автомобіля в рамках запропонованої концепції цілком достатньо пристроїв, які на сьогоднішній день є обов'язковими для легкових транспортних засобів відповідно до норм Європейського Союзу.

Визначення необхідних кутів тангажу та ризикання автомобіля можливе за допомогою сенсорів системи контролю стійкості. Визначення електричних (струму, напруги, частоти) та механічних параметрів (позиції або швидкості обертання вала електричного приводу електромобіля) можливе з блоку управління двигуном, які він отримує від відповідних сенсорів за зворотними зв'язками.

Також запропоновано розширення реалізації розробленої авторами системи підтримки прийняття рішень для водія електромобіля шляхом інтеграції до неї елементів навігації на основі проєктів з відкритим кодом, що дозволить визначати та враховувати такі додаткові параметри як дорожні знаки, дорожня розмітка тощо.

Ключові слова: електромобіль, рух по горизонталі, рух на спуск і на підйом, рух на поворотах, оптимізація, модель, тяговий асинхронний електропривод, система підтримки прийняття рішення.

Вихідні передумови

Досліджуючи тему «Синтез моделей оптимального руху електромобілів з тяговими електродвигунами змінного струму», розроблені закони керування на основі синтезованих математичних моделей оптимального, за критерієм мінімізації споживання заряду силової акумуляторної батареї, руху електромобіля по горизонтальному відрізку дороги, які висвітлені в роботах [1], [2] та [3], а також і під час руху дорогою на спуск та на підйом, розглянутих в роботах [4] та [5]. Також, в роботі [6], розроблено моделі для визначення граничних та критичних швидкостей, не перевищення яких унеможливить перевертання чи занос автомобіля при проходженні ним поворотів, які також увійшли до комплексу розроблених законів керування електромобілем. Для використання отриманих законів керування пропонується реалізація системи підтримки прийняття рішення (СППР) для водія електромобіля.

Основні результати

Пропонується СППР створювати як трирівневу предметно інформаційну сукупність. Перший рівень — автоматизовані сенсори електромобіля, другий — бортовий комп'ютер електромобіля і третім буде смартфон водія цього електромобіля зі встановленим застосунком, який опрацьовуватиме дані сенсорів, що надходять від бортового комп'ютера, і на їхній основі у реальному часі розраховуватиме значення параметрів керування рухом електромобіля, які потрібно дотримуватися для забезпечення оптимального енергоспоживання та безпечного руху при проходженні поворотів. Розраховані значення будуть виведені на інформаційне табло електромобіля, на основі яких водій електромобіля буде приймати відповідне до умов руху рішення щодо керування транспортним засобом.

Функціональну схему пропонуваної СППР показано на рис. 1.

Для реалізації СППР проведено аналіз наявних у сучасному електромобілі, які можна використати для її потреб. А також пошук рішень щодо розширення функціоналу для ефективнішої роботи системи.

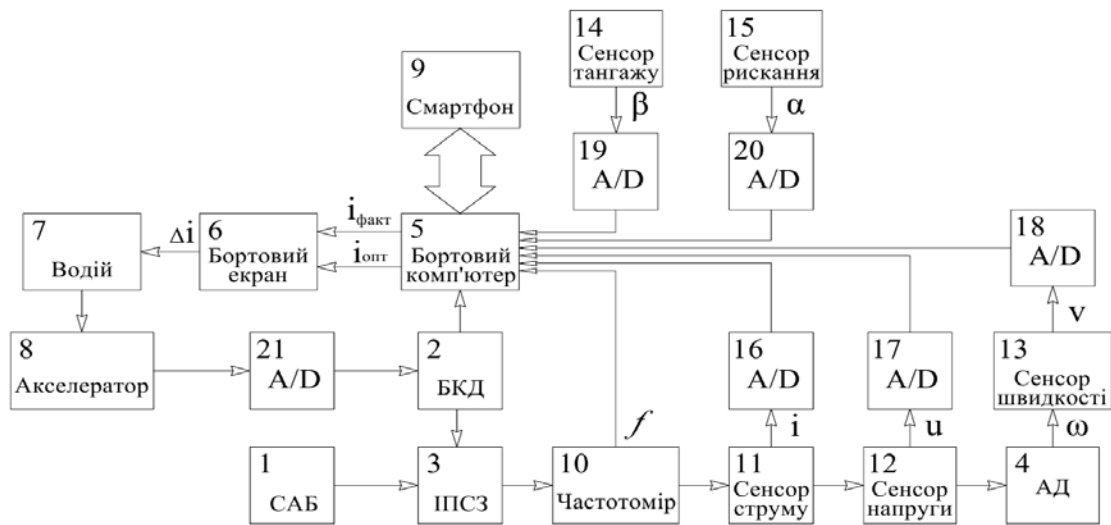


Рис. 1. Функціональна схема системи підтримки прийняття рішення (СППР): 1 — силова акумуляторна батарея; 2 — блок керування двигуном (інвертором); 3 — інвертор постійного струму в змінний; 4 — асинхронний двигун; 5 — бортовий комп'ютер електромобіля; 6 — бортовий дисплей (інформаційне табло); 7 — водій електромобіля; 8 — акселератор, 10 — частотомір, 11,12,13 — сенсори струму, напруги і швидкості, відповідно, 14 — сенсор кута нахилу електромобіля (тангажу), 15 — сенсор кута повороту електромобіля (рискання), 16—21 — аналогово-цифрові перетворювачі

Використовуючи інформацію, взяту з посібника для проектування тягового інвертора від Texas Instruments [7], схему трифазного дворівневого інвертора, показану на рис. 2, електричні (струм, напруга та частота) та механічні (позиція або швидкість обертання валу електричного двигуна) параметри можна отримати з блока управління двигуном (MCU — Motor Control Unit), оскільки їх він отримує за зворотними зв'язками від електродвигуна.

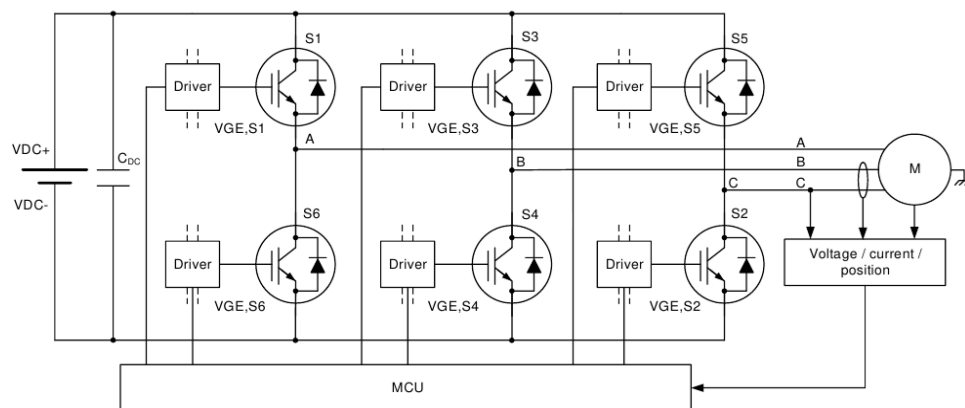


Рис. 2. Схема трифазного дворівневого IGBT інвертора

Електричні та механічні параметри можуть бути передані через внутрішні інформаційні канали до бортового комп'ютера автомобіля та, в свою чергу, передаватимуться до смартфона водія електромобіля зі встановленим застосунком СППР.

Значення кутів ризику та тангажу автомобіля для системи СППР можна отримати від системи Електронного Контролю Стійкості — ЕКС (англ. ESC — Electronic Stability Control або ESP — Electronic Stability Program), яка, відповідно до постанови Європейського Союзу від 1 листопада 2014 року, є обов'язковою системою для нових автомобілів. Як зазначено у специфікації [8] найбільшого виробника систем ЕКС Bosch, сучасні системи ЕКС мають акселерометри, що здатні вимірювати прискорення у 6 вимірах (прискорення: крену, тангажу, ризику, поздовжні, поперечні та вертикальні).

Для організації встановлення комунікації між бортовим комп'ютером та смартфоном водія компанія Bosch пропонує рішення для інтеграції мобільних застосунків в автомобіль з назвою mySPIN і має сумісність великою кількістю сучасних легкових автомобілів та двоколісних транспортних засобів. Представлений технічний концепт системи інтеграції показаний на рис. 3.

MySPIN доступний для Android та iOS пристроїв і він дозволяє зареєстрованим застосункам 3-х сторін встановлювати з'єднання із бортовою інформаційною системою (бортовим комп'ютером) автомобіля і отримувати доступ до певних типів його технічних даних та навколишнє середовище (наприклад, інформацію про рух транспортного засобу, інформацію про технічне обладнання транспортного засобу та його статус, інформацію про фізичне середовище автомобіля та умови навколишнього середовища).

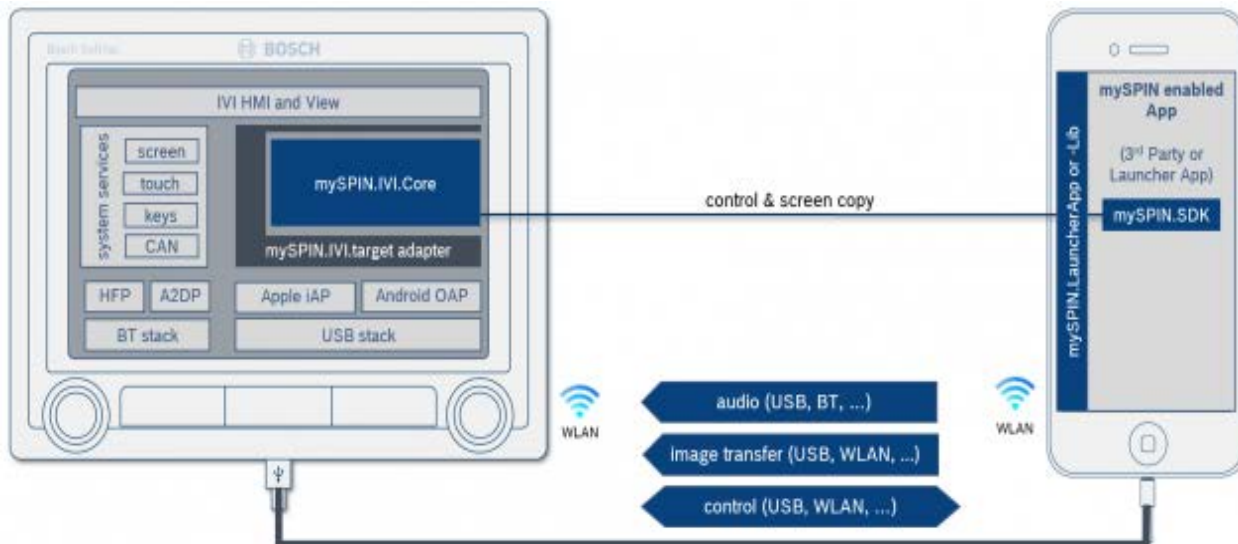


Рис. 3. Технічна концепція mySPIN

Щодо реалізації застосунку смартфона — програмного комплексу для визначення оптимальних параметрів керування рухом транспортного засобу, то на основі отриманих даних від сенсорів автомобіля і виведення результатів на бортовому інформаційному табло, можна і варто закласти не тільки розроблені моделі оптимального руху а й інші системи. До прикладу, можна розширити функціональні можливості його шляхом інтеграції елементів навігації на основі OSRM (англ. Open Source Routing Machine), що є маршрутизатором з відкритим кодом, розробленим для використання даних з проекту OpenStreetMap. А OpenStreetMap — є публічним відкритим проектом для збору, збереження та розповсюдження загальнодоступних геопросторових даних, створення інструментів для роботи з ними силами спільноти волонтерів і охоплює всю поверхню Землі. Таким чином елементи навігації дозволять, при імплементації відповідних систем та даних, визначати не тільки початкові умови стану руху транспортного засобу в конкретний момент часу, опитуючи його сенсори, а й граничні умови, шляхом визначення маршруту, за яким рухається транспортний засіб, і його поділ на ділянки (наприклад, від повороту до повороту, між початком схилу та його кінцем, прямолінійним відрізком дороги тощо) і, відповідно, обчислюючи на кожній такій ділянці оптимальні параметри руху. Елементи навігації також дозволять визначати необхідні початкові та граничні умови та обмеження, що накладатимуться під час руху дорожніми знаками, розміткою та транспортним потоком.

Для представленої сукупності системи програм важливим етапом під час їхньої розробки буде реалізація високоефективних алгоритмів, які будуть оптимально використовувати обмежені обчислювальні ресурси смартфонів, оскільки для СППР необхідно буде в реальному часі виконувати велику кількість розрахунків та опрацьовувати чималу кількість вхідних даних від сенсорів автомобіля та офлайн чи онлайн служб навігації.

З урахуванням вищезазначеного на рис. 4 подано базову концепцію реалізації СППР, в якій вказані елементи систем та їхні взаємозв'язки.

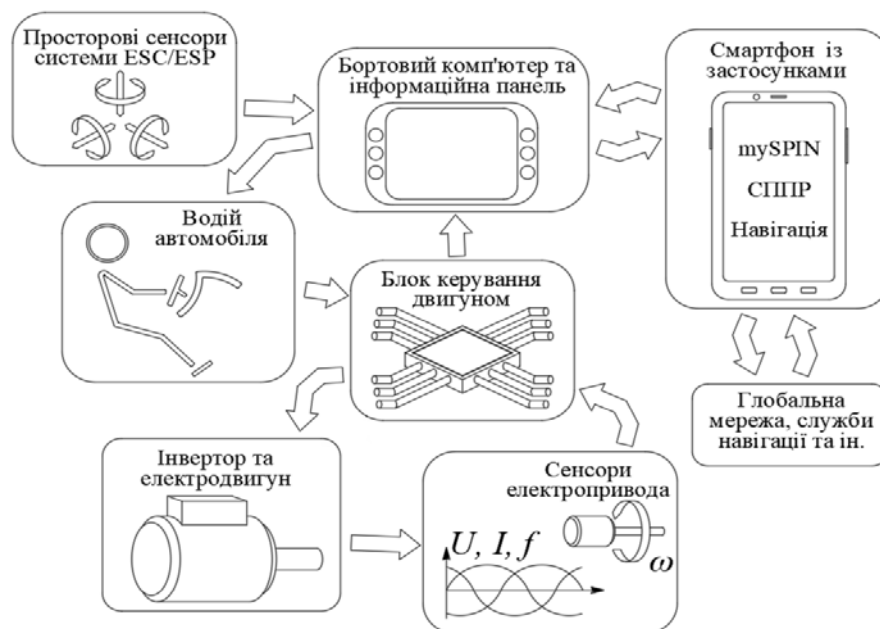


Рис. 4. Базова концепція структури СППР інтегрованої до систем автомобіля

Висновки

Запропоновано перспективний варіант реалізації системи підтримки прийняття рішення для водія під час його керування електромобілем при русі дорогою по горизонталі, на спуск та на підйом, а також при подоланні ним поворотів для досягнення оптимальних витрат енергії силової акумуляторної батареї електроприводом електромобіля та забезпечення стійкості його руху на поворотах, в якому використані синтезовані авторами математичні моделі. Проведено огляд та аналіз сучасних систем електромобілів, на основі яких можлива реалізація СППР та інтеграція програмного забезпечення систем на базі операційних систем Android та IOS до інформаційних систем електромобілів, можливість розширення їхнього функціоналу для підвищення ефективності роботи системи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Б. І. Мокін, О. Б. Мокін, і В. В. Горенюк, «До питання оптимізації руху електромобіля з асинхронним електроприводом,» *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, вип. 3, с. 32-39, Черв. 2019. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2019-144-3-32-39>.
- [2] Б. І. Мокін, О. Б. Мокін, і В. В. Горенюк, «Метод ідентифікації моделей оптимального руху електромобіля з асинхронним електроприводом,» *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, вип. 1, с. 32-38, Лют. 2020. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2020-148-1-32-38>.
- [3] Б. І. Мокін, О. Б. Мокін, і В. В. Горенюк, «Моделювання оптимального руху електромобіля з асинхронним електроприводом горизонтальним відрізком дороги,» *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, вип. 5, с. 26-33, Листоп. 2020. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2020-152-5-26-33>.
- [4] В. В. Горенюк, «Синтез та ідентифікація моделей оптимального руху електромобіля з асинхронним електроприводом по схилах і підйомах дороги,» *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, вип. 2, с. 37-44, Квіт. 2021. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2021-155-2-37-44>.
- [5] В. В. Горенюк, «Моделювання оптимального руху електромобіля з асинхронним електроприводом на схилах і підйомах дороги,» *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, вип. 5, с. 43-49, Жовт. 2021. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2021-158-5-43-49>.
- [6] V. Horeniuk, "Integration of kinematic and dynamic mathematical models of a two-axle electric car in the problem of estimating its stability on turns," *SR*, no. 5, pp. 23-29, Oct. 2021. <https://doi.org/10.21303/2313-8416.2021.002145>

[7] *Texas Instruments. HEV/EV Traction Inverter Design Guide Using Isolated IGBT and SiC Gate Drivers*. Application Report. SLUA963A - November 2019 - Revised June 2020. [Electronic resource]. Available:

https://www.ti.com/lit/an/slua963a/slua963a.pdf?ts=1653198250507&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F .

[8] *Bosch. Inertial measurement unit*. [Electronic resource]. Available:

<https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/solutions/sensors/inertial-measurement-unit/> .

Рекомендована кафедрою системного аналізу та інформаційних систем ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 1.06.2022

Горенюк Вадим Вікторович — аспірант кафедри комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів, e-mail: gvv.ghost@gmail.com ;

Мокін Борис Іванович — академік НАПН України, д-р техн. наук, професор, професор кафедри системного аналізу та інформаційних систем, e-mail: borys.mokin@gmail.com ;

Мокін Олександр Борисович — д-р техн. наук, професор, професор кафедри системного аналізу та інформаційних систем, e-mail: abmokin@gmail.com .

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

V. V. Horeniuk¹
B. I. Mokin¹
O. B. Mokin¹

Prospects for Implementing a Decision-making Support System for an Electric Car Driver

¹Vinnitsia National Technical University

There has been proposed a way of implementing the decision-making support system for the driver of an electric car while driving it along the horizontal section of the road as well as on descent and ascent with different angles of the slope.

The system was based on the synthesized the authors' mathematical models of the electric car's optimal movement by the criterion of the minimum consumption of the electric car power battery charge by its frequency-controlled induction motor which is traction in the drive system of an electric vehicle using Lagrange variational method and a mathematical model of the magnetization curve in the form of an inverted hyperbolic sine, which with high precision binds the current in the stator winding of an induction motor with a magnetic flux created by the field of this current and based on the mathematical models of determination of speeds values while the car with an internal combustion engine or electric car cornering not exceeding which makes it impossible to overturn or skid, which has been synthesized based on the balance equations of both kinematics and dynamics.

Carried out the analysis of on-board electronic systems of modern cars, which are currently mandatory for passenger vehicles under the European Union norms and has been revealed that the available ones are quite sufficient for the implementation of decision-making support system for the driver of an electric car in the bound of the proposed concept.

Determining the necessary angles of pitch and yaw of the car is possible with the help of sensors of the Electronic Stability Control. Determining electrical parameters of the electric drive - current, voltage, frequency, and mechanical - the position or speed of rotation of the electric drive shaft of an electric vehicle is possible from the engine control unit, which it receives from the relevant sensors through feedback.

It is also has been proposed to extend the implementation of the proposed decision-making support system for the driver of an electric car while driving it by integrating navigation elements based on open source projects into it, which will allow defining and considering such additional parameters as road signs, road markings, etc.

Keywords: electric car, horizontal movement, descent and ascent movement, cornering movement, optimization, model, traction induction electric drive, decision-making support system.

Horeniuk Vadym V. — Post-Graduate Students of the Chair of Computerized Electromechanical Systems and Complexes, email: gvv.ghost@gmail.com ;

Mokin Borys I. — Academician of NAPS of Ukraine, Dr. Sc. (Eng.), Professor of the Chair of Systems Analysis and Information Systems, e-mail: borys.mokin@gmail.com ;

Mokin Oleksandr B. — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Chair of Systems Analysis and Information Systems, e-mail: abmokin@gmail.com