

УДК 629.113: 629.3.032.2: 623.43

О. П. Кондратенко, С. М. Мельников, О. В. Орел

ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ АВТОМОБІЛЯ

Представлені результати огляду і аналізу характеристик та особливостей застосування підвищеної напруги в системі електропостачання автомобіля.

Ключові слова: автомобіль, акумулятор, бортова мережа, генератор, система електропостачання, електропривод.

Постановка проблеми. Для того щоб перевезення були безпечними, а для пасажирів ще і комфортними, щоб агрегати, вузли, блоки, системи працювали безвідмовно, на автомобілі широко використовуються електротехнічні пристрої та засоби електронної автоматики. В останні роки технічна оснащеність автомобілів електронною бортовою автоматикою значно зростає [1]. Функціональне різноманіття бортових електричних пристроїв неминуче обумовлює необхідність застосування на автомобілі декількох первинних джерел електроенергії з різними робочими напругами. При цьому буде використовуватися й змінна синусоїдна напруга для спеціальних споживачів. У міру ускладнення електроустаткування автомобіля зростає споживана їм потужність, що і є основною причиною переходу від сьогоденної напруги бортової мережі 14 В до напруги 42 В.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Система електропостачання автомобіля включає генератор, випрямляч і регулятор напруги, які складають генераторну установку, що забезпечує електроенергією всіх споживачів. До системи електропостачання входить і акумуляторна батарея, що забезпечує струмом споживачів при непрацюючому двигуні внутрішнього згоряння й у режимах руху, за яких напруга генераторної установки є недостатньою.

До системи електропостачання прийнято відносити також елементи контролю працездатності генераторної установки: реле, контрольну лампу й т. п.

Як джерело постійного (випрямленого) струму на сучасних автомобілях використовуються вентильні генератори, тобто синхронні генератори змінного струму, що працюють на бортову мережу через вбудований у них випрямляч. Це дозволяє використовувати генератор як датчик частоти обертання двигуна. Тому деякі типи генераторів мають, крім виводів постійного струму, ще й виводи змінного струму, до яких підключаються реле блокування стартера, тахометри й інші пристрої, що функціонують залежно від частоти обертання двигуна. Вентильний генератор живить змінним струмом і підвищуючий трансформаторно-випрямляльний блок (ТВБ), використовуваний на дизельних автомобілях.

Генераторні установки випускаються на номінальну напругу 14 та 28 В [1]. Напруга 28 В характерна для системи електропостачання дизельних вантажних автомобілів, у яких забезпечується два рівні напруги:

- низький рівень 14 В безпосередньо на генераторі для живлення основних споживачів;
- високий рівень 28 В через трансформаторно-випрямний блок для живлення зарядного кола акумуляторних батарей, використовуваних при запуску двигуна.

Метою статті є огляд шляхів упровадження іншої, більш високої робочої напруги, що пов'язане з необхідністю підвищення напруги електроживлення новітніх енергоємних споживачів, таких, як силові електромагнітні гідроклапани, електромагнітні соленоїди силових виконавчих пристроїв, потужні електродвигуни, силові електронні комутатори, мультиплексна електропроводка й т. п.

Виклад основного матеріалу. Єдиної стратегії переведення бортової мережі автомобіля на більш високу напругу поки немає. Вважається, що деякий час на автомобілі буде дві напруги: 12 В – для класичного електроустаткування і 36 В – для новітніх потужних споживачів [2].

Розглянемо електромобілі. Тут головна тягова акумуляторна батарея, якою керує контролер, і тяговий електродвигун розраховані на напругу 120... 380 В. Вони з'єднані між собою окремими проводами. При цьому бортова мережа залишається 12-вольтовою [1].

Вартість електронного устаткування сучасного автомобіля зростає щороку й досягла сьогодні близько двох-трьох тисяч доларів для автомобілів високого класу. Внаслідок заміни механічних пристроїв електромеханічними й застосування складних електронних пристроїв вартість електронного устаткування зростатиме ще швидше й складе в найближчі 10 років до 40 % від повної

вартості автомобіля [3].

Перехід на напругу 42 В дозволяє ввести до складу електроустаткування автомобілів деякі потужні споживачі, які неможливо використати у мережах з напругою 14 В. У таблиці 1 наведений список споживачів, які доцільно підключити до шини 42 В [2].

Т а б л и ц я 1

Потужні споживачі електроенергії

Устаткування	Пікова потужність, Вт
Електромеханічні гальма	2 000
Електромеханічний підсилювач руля	1 800
Обігрівач заднього скла	1 500
Електроventильатор	800
Підігрів сидінь	2 000
Електропривод сидінь	800
Активна підвіска	12 000
Освітлення	600
Нагрівач каталітичного нейтралізатора	3 000
Електромеханічний привод клапанів	3 200
Електродвигун компресора кондиціонера	4 000
Обігрів вітрового скла	2 500

Системи електропостачання автомобілів напругою 42 В можуть мати різні структури.

Структура з напругою тільки 42 В складається з 42-вольтового генератора, 36-вольтового стартера, 36-вольтового акумулятора й розподільної шини на 42 В. Таке найбільш дороге й складне в реалізації технічне рішення сьогодні не застосовується, оскільки для цього необхідно перепроектувати й налагодити виробництво всіх компонентів автомобільного електроустаткування на 42 В. За оцінками фахівців, перехід на систему з напругою тільки 42 В потребує, приблизно, 20 років.

Змішана структура на дві напруги (42 та 14 В) є перехідною й дозволяє використати багато компонентів, розрахованих на звичну напругу 14 В. Перехід до напруги бортової мережі автомобіля 42 В відбувається поступово. Спочатку в експлуатації з'явилися автомобілі зі змішаною мережею 42 та 14 В, такі, як гібридні автомобілі Toyota Crown або GM Sierra [2].

Можливі різні варіанти реалізації змішаних структур. Наприклад, у системі електропостачання автомобіля може бути два генератори: один на 42 В, а другий на 14 В або один генератор на 42 В і різні перетворювальні пристрої, що знижують напругу до 14 В. Може бути застосований один акумулятор на напругу 12 В або дві батареї (на 12 та 36 В), або одна батарея на 36 В.

У схемі на рисунку 1 [3] сполучений стартер-генератор (ССГ) виробляє змінну напругу, що надходить на трифазний випрямляч-інвертор, далі вона подається на шину 42 В, до якої підключені певні навантаження [6]. Низьковольтні навантаження підключені до мережі з напругою 12 В. Як накопичувачі енергії застосовані акумулятори з напругами 36 В та 12 В. Мережі з напругами 42 В та 14 В об'єднані через двонаправлений перетворювач постійної напруги, що дозволяє їм обмінюватися енергією.

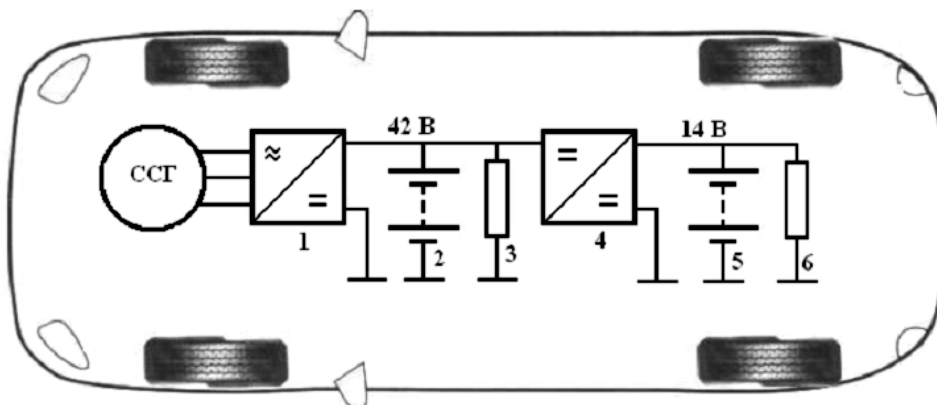


Рис. 1. Змішана система електропостачання з напругами 14 та 42 В: 1 – трифазний оборотний інвертор; 2 – акумулятор 36 В; 3 – споживачі напруги 42 В; 4 – двонаправлений перетворювач постійної напруги; 5 – акумулятор 12 В; 6 – споживачі напруги 14 В

Розподілена структура з напругою в мережі 42 В, акумулятором на 36 В і малопотужними перетворювачами постійної напруги для живлення окремих низьковольтних споживачів (наприклад, комбінації приладів або окремої передньої фари), змонтованих у безпосередній близькості від них та керованих по локальній мережі (CAN), представлена на рисунку 2.

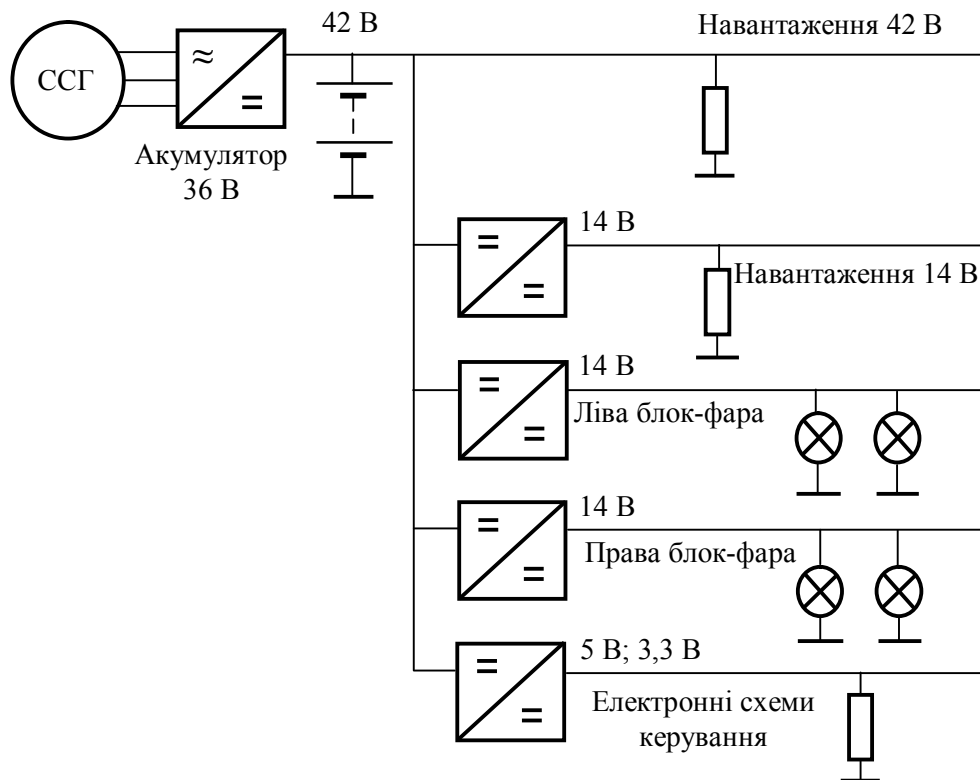


Рис. 2. Розподілена змішана схема електроживлення

Потужні навантаження підключаються до шини 42 В, а 14-вольтові навантаження – через окремі перетворювачі, тобто система є децентралізованою. Більша частина навантажень середньої й малої потужності живиться від окремих перетворювачів, які можуть бути розташовані в безпосередній близькості від споживача. Наприклад, система освітлення сучасного автомобіля складається з більше ніж 100 ламп. Їхнє електроживлення зручно реалізувати, використовуючи розподілену систему подачі енергії.

У разі використання напруги 42 В основні інженерні проблеми пов'язані з генерацією, зберіганням і розподілом електроенергії.

Автономні пересувні об'єкти (АПО) для пересування по суші представлені двома основними типами: авто- і електромобілями. Інші типи, такі, як електровози, тепловози, трамваї, тролейбуси, транспорт на магнітній підвісці мають тим або іншим способом обмежену автономність. Вони прив'язані або до спеціально побудованого шляху, або до спеціально побудованої системи енергопостачання, або до першого й другого одночасно.

Наразі маємо дві основні системи привода АПО, що відрізняються за ознакою використовуваного джерела енергії. У традиційному автомобілі механічна енергія, вироблювана ДВЗ, використовується для переміщення й перетворюється на електричну для постачання допоміжних пристроїв власних потреб (ПВП).

У електромобілі енергія, запасена хімічним джерелом струму (ХДС), за допомогою електромотора перетворюється на механічну, використовувану для переміщення та для ПВП.

Природним є існування проміжного типу автомобілів, так званих гібридних автомобілів, що використовують більше одного способу одержання механічної енергії для пересування, наприклад, ДВЗ та електропривод. Існує чітка класифікація гібридних автомобілів [4, 7].

Комбіновані гібридні автомобілі (див. рис. 3) поєднують переваги паралельного й послідовного типів. При цьому ДВЗ використовується в оптимальному режимі. Недоліки комбінованого гібрида – підвищена вартість, окремий генератор і підвищена складність керування потоком механічної енергії. Типовим представником електромобіля є Тесла, гібридного автомобіля – Тойота Приус і Хонда Айсайт.

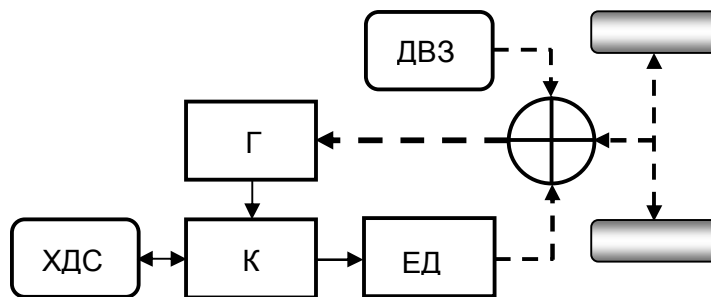


Рис. 3. Комбінований гібридний автомобіль

Батарея високої напруги варіанта Приус-10 складається з 228 елементів по 1,2 В кожний з повною номінальною напругою 273,6 В. Вони об'єднані у 38 модулів по 6 елементів у кожному. Вся батарея встановлена під заднім сидінням. Максимальний струм батареї складає 80 А у режимі розрядки й 50 А у режимі зарядки. Номінальна ємність батареї 6,5 А·год, однак, електроніка дозволяє використати тільки близько 40 % цієї ємності, щоб продовжити термін експлуатації акумулятора. Стан заряду може змінюватися тільки у межах 40–80 % повного заряду.

Перемноживши напругу батареї на її ємність, одержимо номінальний запас енергії – 6,4 МДж. Використовуваний запас складатиме 2,56 МДж. Цієї енергії достатньо, щоб чотири рази прискорити автомобіль із пасажиром до 100 км/год без допомоги ДВЗ, або проїхати 2 км на підйом. Щоб виробити таку кількість енергії, ДВЗ потрібна приблизно склянка бензину. Ці цифри дозволяють краще оцінити кількість накопиченої в батареї енергії.

Приус має також допоміжну батарею. Це 12-вольтова, ємністю 28 А·год, кислотна-свинцева батарея. Вона потрібна для живлення електроніки й додаткових пристроїв, коли гібридна система й головне реле батареї високої напруги виключені.

Залежно від класу автомобіля, встановлена потужність ПВП складає кілька десятків кіловатів [4], що також свідчить на користь гібридизації. Типові ПВП та їхні характеристики наведені в таблиці 2 [3].

Т а б л и ц я 2

Характеристики пристроїв власних потреб

Тип ПВП	Споживчі властивості	Встановлена потужність	Примітки
Сполучений стартер-генератор	Безшумний старт, зниження вихлопу, збільшений крутний момент на низьких обертах	6... 10 кВт	Нові можливості для робочого устаткування
Перетворювачі постійного струму	Швидке впровадження 42-вольтових пристроїв у існуючі 12-вольтові	500 Вт... декілька кВт	Необхідні при переході від 12 до 42 В
Компресор кліматичної установки	Поліпшення використання енергії, зниження шуму, підвищення надійності	декілька кВт	Заміна пасової передачі
Електропідсилювач кермового керування	Поліпшення використання енергії, зручність	1 кВт... декілька кВт	Неможливе для автомобілів класу Д і вище
Вентилятор двигуна	Поліпшення використання енергії, зниження шуму, підвищення надійності	100 Вт	Заміна пасової передачі
Електромеханічний привод клапанів	Поліпшення використання енергії	декілька кВт	Підвищення ККД мотора

Виходячи з вищевикладеного, можна дійти такого висновку: практично всі автомобілі із установленим ССГ є паралельними гібридними автомобілями з обмеженою встановленою потужністю ХДС.

Технології ХДС акумуляторного типу також не стоять на місці. Нові типи: Ni-H зі зберіганням водню в гідридах та Li-Pol, Li-Ion й LiFePO₄ з порівняно нетоксичними складовими дозволили збільшити питому енергоемність у десятки разів, порівняно з найбільш масовим кислотна-свинцевим акумулятором. На даному етапі найбільш виправданими за питомими вартісними показниками є електрохімічні системи Ni-H та LiFePO₄. Разом з тим прогрес у технології свинцевого акумулятора дозволив серійно випускати електромобіль із комерційно достатнім пробігом і часом перезарядки.

У всіх структурах АПО можна виділити одну загальну частину електричної підсистеми (рис. 4).

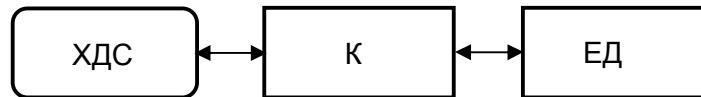


Рис. 4. Структура енергообміну в електричній підсистемі автомобілів

Наприкінці розглянемо основні типи електродвигунів, використовуваних у приводі автомобілів. Це електроприводи постійного струму (рідше), трифазні асинхронні й синхронні електродвигуни [7].

Перевагою електроприводів постійного струму послідовного збудження є їх здатність створювати великий крутний момент при пуску, що пояснює їхнє широке застосування в електроприводах малих АПО – електрокарів і машин для гольфа.

До недоліків варто віднести нелінійність залежності між моментом і швидкістю, складність реверсу, динамічного й генераторного гальмувань.

Електродвигун паралельного збудження має більш тверду навантажувальну характеристику, але через малий пусковий момент він не застосовується у тяговому електроприводі автомобіля.

Електродвигун незалежного збудження дозволяє варіювати характеристики в пусковому й робочому режимах, здійснювати динамічне й генераторне гальмування шляхом керування невеликим, щодо струму якоря, струмом обмотки збудження.

Подібні параметри мають і трифазні синхронні електродвигуни. АПО із трифазними асинхронними електродвигунами перебувають у стадії прототипів, хоча один вже навіть знятий з виробництва (EV1 від General Motors). У гібридних автомобілях, що випускаються серійно, наприклад, Тойота Приус, використовується саме синхронний електродвигун змінного струму [5].

Висновки

1. Основною причиною переходу від напруги бортової мережі 14 В до напруги 42 В є зростаюче ускладнення електроустаткування автомобіля, що потребує збільшення потужності, яка споживається. Сьогодні вартість електронного устаткування швидко збільшується і в найближчі 10 років складатиме до 40 % від повної вартості автомобіля.

2. Можливі різні варіанти реалізації змішаних структур електропостачання автомобіля: два генератори на напруги 42 В і 14 В; один генератор на 42 В і різні перетворювальні пристрої, що знижують напругу до 14 В; один акумулятор на напругу 12 В або два – на 12 й 36 В, або одна батарея на 36 В.

3. У разі використання напруги 42 В основні інженерні проблеми пов'язані з генерацією, зберіганням і розподілом електроенергії. Основні типи електродвигунів, що використовуються у приводі автомобілів, це двигуни постійного струму (рідше), трифазні асинхронні й синхронні електродвигуни.

Список використаних джерел

1. Ютт, В. Е. Электрооборудование автомобилей [Текст] / В. Е. Ютт. – 3-е изд. – М. : Транспорт, 2006. – 285 с.
2. Соснин, Д. А. Новейшие автомобильные электронные системы [Текст] / Д. А. Соснин, В. Ф. Яковлев. – М. : Солон-Пресс, 2005. – 240 с.
3. Jürge, R. K. Automotive electronics handbook [Текст] / R. K. Jürge. – McGraw-Hill, Inc., 2005.
4. Злотин, Б. Прогноз развития автомобиля. Ч. 2. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.metodolog.ru/node/423#comment-7975>. – Назва з екрана.
5. Гібридні силові установки [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.bestreferat.ru/referat-404022.html>. – Назва з екрана.
6. Система Стоп-старт [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://systemsauto.ru/electric/stop_start.html. – Назва з екрана.
7. Кондратенко, О. П. Обратна асинхронна машина в гібридній техніці. Огляд сучасного стану та перспектив застосування [Текст] / О. П. Кондратенко // Збірник наукових праць Академії внутрішніх військ МВС України. – Х. : Акад. ВВ МВС України, 2013. – Вип. 2(22). – С. 5–11.

Стаття надійшла до редакції 07.04.2015 р.