

**«Електробагі з розробкою незалежної
електричної бортової системи з можливістю
підзарядки від сонячних панелей та
бездротовою зарядкою»**

Шифр: Електротранспорт 4718

Зміст

Вступ	3
1 Історія виникнення багі	4
2 Конструкція електробагі.....	5
3 Гальмівна система електробагі.....	6
4 Система охолодження електробагі.....	7
5 Електросистема багі.....	10
6 Розрахунок потужності BLDC двигуна.....	12
7 Система BMS (Battery Management System).....	16
8 Принцип роботи сонячних панелей.....	22
9 Бездротова зарядка.....	28
7 Ілюстровані матеріали.....	29
Висновки.....	30
Перелік посилань.....	31

Вступ

В Україні існує нагальна потреба в розвитку багі на електроприводі для військового та подвійного призначення, які мають значну кількість переваг, в порівнянні з аналогами з двигунами внутрішнього згорання. Багі буде оснащено двома електричними бортовими системами, системою підзарядки від сонячних панелей, системою рекуперації енергії. Таке рішення приведе до збільшення запасу ходу автомобіля, зменшить навантаження на акумулятори, що в свою чергу збільшить їх термін експлуатації. Також крім основної тягової батареї буде встановлена додаткова акумуляторна батарея.

Електромобіль — автомобіль, що приводиться в рух одним або декількома електродвигунами з живленням від акумуляторів або паливних елементів тощо, а не двигуном внутрішнього згорання, 60% - 70 % в електромобілях - це електрична складова від загальної вартості, а серед електричної компоненти 50% - це вартість акумуляторної батареї. Отже, мета нашої роботи - привернути увагу вчених, фахівців та споживачів до розв'язання питань швидкого розвитку масового виробництва електробагі, зокрема багі військового та подвійного призначення в Україні, а саме підвищити термін служби акумуляторної батареї і запасу ходу транспортного засобу внаслідок використання додаткової акумуляторної батареї, яка буде живитись від сонячних панелей, енергія додаткової акумуляторної батареї буде використовуватись для живлення бортової системи та бортових елементів також, спрогнозувати перспективи впровадження та експлуатації електробагі та їх конкурентної спроможності, порівняти військові багі в Україні та світі, порівняти переваги і недоліки багі виробників інших країн, визначити важливі першочергові заходи, які необхідні для забезпечення швидкого та ефективного впровадження електробагі для військового та подвійного призначення; описати всі системи, які будуть встановлені на електробагі з підзарядкою від сонячних панелей й можливістю рекуперації енергії.

Історія виникнення багі

Багі - це невеликий легкий всюдихід для їзди по бездоріжжю. Даний вид транспорту використовується як і для цивільного, так і для військового призначення.

Перший багі-мобіль сконструювали в США в 1950-і роки. Це була переробка машини Фольксваген Жук (Volkswagen Bug). Звідси і назва "buggy", тобто "жучок". Слово "buggy" в перекладі можна трактувати і як «легка коляска» або «кабриолет». В Європі випуском перших багі займалася італійська фірма Autozodiaco. На початку 70-х років минулого століття багі з'явилися в СРСР: збирали їх на базі спрощеного кузова автомобіля ГАЗ-69, «Запорожець», «Москвич», «Жигулі». Початкові конструкції могли бути без крил, дверей, без кузова і без облицювання, без радіатора. Несучої основою (на базі Volkswagen Bug) була полегшена рама або скловолоконний кузов [1].

Але це жодним чином не впливало на їх швидкість, високу прохідність і вседоступність. Одними з найактивніших експлуатантів армійських багі є збройні сили США. Тут на озброєнні перебуває понад 20 видів багі виробництва різних компаній. Спочатку основним їх призначенням було патрулювання кордонів США. Також дані автомобілі добре підходять для дій в пустелі, проведення диверсійних вилазок і ведення розвідки. Зазвичай вони є носіями легкого озброєння, а їх екіпаж складається з 2-3 чоловік. Військові конфлікти в Афганістані та Іраку показали, що поліпшення броньованого захисту позашляховиків неминуче веде до зростання їх маси і втрати можливості виконувати ряд розвідувальних завдань. У цій ситуації їм доводиться поступатися легким транспортним засобам, що володіють високою маневреністю, швидкістю, малої помітністю на місцевості і порівняно невеликою ціною [5].

Наразі в Україні багі працює лише на двигунах внутрішнього згорання. Ми хочемо спроектувати багі на електроприводі для військового та подвійного призначення з можливістю підзарядки від сонячних панелей.

Конструкція електробагі

Багі має наступні переваги:

- легкість конструкції і управління;
- хороша маневреність;
- міцні шасі;
- міцна рама;
- стійкість на будь-якій поверхні;
- високий кліренс (звідси висока прохідність по бездоріжжю і скелястій місцевості), простота в обслуговуванні;
- швидкість, динаміка розгону.

Рама на багі не тільки базовий елемент всієї конструкції, а й ще каркас безпеки, рама багі повинна надійно захищати водія і в зіткненнях, і при перекиданні.

При його виготовленні використовувалися труби з доступних конструкційних сталей: на основний каркас, дуги безпеки і основні несучі елементи підвісок балки - труби розміром 42X2,5, на бічну - 35X2,2, а на інші, менш навантажені елементи (захист силового агрегату, відбійники, кронштейни крил) - розміром 32X2. Збірку рами починають з нижнього каркасу, у передній частині до його коротких поздовжнім трубах приварюються кронштейни нижніх важелів передньої підвіски, а до поперечної балки з протилежного боку - кронштейни важелів задньої підвіски і вушка передньої опори силового агрегату. Передня частина рами має клиноподібну форму. На невисоких стійках цій частині рами приварені кронштейни верхніх важелів передньої підвіски, а між ними на лонжероні - опорні вушка кріплення амортизатора.

Підвіска багі - незалежна. Передня на трикутних поперечних важелях, зварених зі сталеві труби 28X2,5. Нижні важелі посилені поздовжньою поперечиною і мають кронштейн для кріплення амортизатора. Задня підвіска монтується на стандартних поздовжніх важелях. До них же кріпляться

кронштейн амортизатора і вушко приєднання ременя-обмежувача максимального ходу важеля [4].

До ходової частини електробагі автомобіля пред'являються високі вимоги. Основне завдання підвісок - максимально забезпечити контакт коліс з землею в важких умовах руху і ефективно гасити виникаючі коливання. Одним з основних переваг незалежної є саме те, що при наїзді одного колеса на нерівність інше не змінює свого положення. Ця незалежність роботи підвісок на різних сторонах осі забезпечує більший комфорт і більш рівномірне зчеплення з поверхнею при проходженні нерівностей. Крім того, незалежна підвіска забезпечує менші безпружинні (непідресорні) маси, а також дозволяє працювати над їх зменшенням за рахунок зміни конфігурації і матеріалів виготовлення елементів підвіски – наприклад, алюмінієві важелі на сьогоднішній день є досить популярним способом зниження безпружинних мас у дорогих автомобілях [1].

Гальмівна система електробагі

Робоча гальмівна система автомобіля служить для зниження швидкості рухомого автомобіля з необхідною ефективністю аж до повної його зупинки. Вона приводиться в дію зусиллям ноги водія, прикладеним до педалі, а ефективність її дії оцінюється величиною гальмівного шляху і максимальним уповільненням автомобіля [2]. На електробагі будуть встановлені дискові гальма [8].

Переваги дискових гальм:

- великий коефіцієнт тертя між абразивною поверхнею дискових колодок та ротором, у порівнянні з гумовими колодками і алюмінієвим ободом;
- незалежність від погодних та дорожніх умов;
- відсутність зносу ободів від гальмування;
- великий строк служби колодок та самих дисків;
- висока потужність гальмування за меншої дії на важіль;
- нормальна робота гальм при пошкодженні обода;

- ротори, на відміну від алюмінієвих ободів, не бояться сильного нагріву під час гальмування, що важливо в гірських умовах і при швидкісних спусках (DownHill);

- висока точність "дозування" гальмівного зусилля.

Механізм рульового управління - рейковий. Він легше і компактніше чев'ячного, має менше передавальне відношення (1: 10) і тому зручніше для спортивного автомобіля.

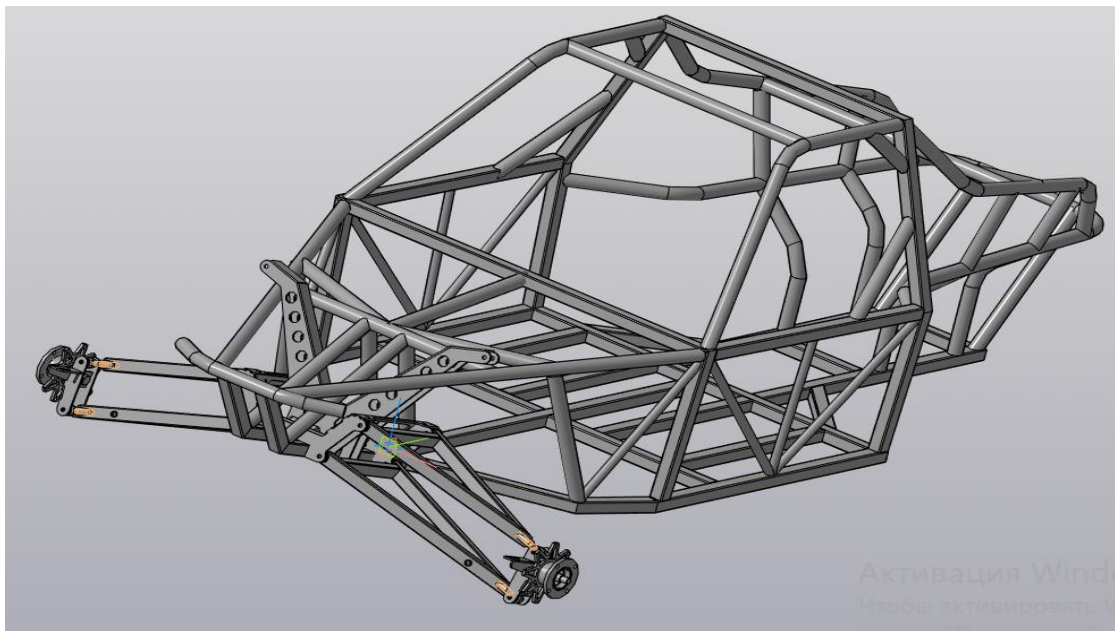


Рисунок 1 – Зовнішній вигляд рами електробагі

Система охолодження електробагі

Зараз дуже популярно використовувати в електромобілях літієві батареї, але вони мають такий недолік як зміна теплоємності через стрибки температури. Так, на морозі вона падає, а на жарі піднімається, але це зменшує період експлуатації батареї. Від цього страждають всі гібридні і електричні авто. Влітку, коли на вулиці стоїть спека, навіть проста поїздка по місту з невеликою швидкістю призводить до того, що літієві батареї нагріваються, і їх температура починає виходити з оптимальних рамок (20 – 350 С⁰), досягаючи всі 450 С⁰.

При постійному перегріві, тривалість використання акумулятора знижується з 5-6 років до 2-4, що призводить до дорогих витрат на автомобіль,

як результат, відмови від нього взагалі. Пов'язано це з тим, що ціна літєвих батарей може досягати половини вартості авто, що зовсім не дешево [3].

Для уникнення таких проблем, в автомобілях, звичайно, є охолоджувальні установки, що складаються з повітря або води. Більш популярні стали останні, так їх теплоємність і теплопровідність краще, що робить їх куди більш ефективними, ніж повітря. Хоча, водяне охолодження дороге і може принести дуже негативні наслідки. Наприклад, в разі витoku є ризик підривання акумулятора, якщо не всієї машини.

Ще однією проблемою в охолодженні автомобілів є те, що обсяг самих батарей набагато перевищує звичайні двигуни, відповідно і вага у них більша. А якщо до нього додати ще й масу води, вміщену в контур охолодження, то це в рази більше, ніж у звичайної машини [3].

Такі проблеми негативно позначаються на репутації електромобілів, і тому багато вчених працюють над їх вирішенням. Нещодавно, порадували громадськість своїм відкриттям науковці з Інституту навколишнього середовища, безпеки та енергетичних технологій суспільства Фраунгофера (Німеччина). Вони створили нову систему охолодження CryoSolplus, яка складається з води, етиленгліколю (він запобігає замерзанню) і парафіну. Головним фактором її дії є дисперсія всіх її складових. Завдяки наявності поверхнево активних речовин, парафін не спливає на поверхню, що дозволяє рівномірно розподілити його краплі по всьому об'єму рідини. Слід зазначити, що труби ПВХ, використані вченими на етапі тестування нової технології, показали себе як хороший і міцний матеріал. Унікальна властивість суміші починає проявлятися, коли вона здійснює перехід з твердого стану в рідке. Зазвичай (при охолодженні) парафін має тверду структуру, але під час нагрівання він починає поступово плавитися і своїм теплом підвищує загальну температуру дисперсії. В результаті, теплоємність CryoSolplus перевищує теплоємність води в три рази, і її вага та обсяг втричі менше, ніж у звичайної системи охолодження. Вартість системи охолодження при цьому лише на 50-100 євро вище, ніж для водного аналога.

Це досягнення цілком може знайти застосування серед гібридних автомобілів, і не тільки. Адже деякі сучасні авто, все ще, маючи невеликі радіатори, використовують охолодження під тиском без участі води. Такі системи характеризуються поганою стабільністю роботи, і їх рекомендується міняти кожні 5000 км, а це означає, що рідину потрібно замінювати як мінімум раз на два місяці. До того ж така заміна можлива тільки в холодному стані, в іншому випадку не виключається вибух [6].

Отже, CryoSolplus може виступити хорошим аналогом існуючих охолоджувальних систем. Саме ця система охолодження буде встановлена на електробагі [3].

На електробагі будуть встановлені шини Tweel. Французька компанія Michelin довго працювала над поєднанням в своїх цивільних покришках оптимальності жорсткості і м'якості. Інженери билися над тим, щоб у вертикальному напрямку гума була податливою для комфортної їзди і хорошої амортизації, а в поперечному напрямку шина була максимально жорсткою, щоб не деформуватися від бічних навантажень в поворотах.

Зрештою, американський підрозділ компанії запропонувало вихід - відмова від пневматичної покришки. Так, з'явилися Tweel (скорочено від tyre - покришка і wheel - колесо). Ця конструкція використовує плоскі гумові спиці спеціального перетину, якими замінено наповнений повітрям обсяг звичайної покришки. Ці спиці нерозбірно з'єднують між собою зовнішній обід з протектором і внутрішній - закріплюється на маточину.



Рисунок 2 – Зовнішній вигляд шини Tweel

Гумові спиці колеса поглинають удари краще, ніж накачана повітрям шина, так як вони можуть вільно згинатися по всій висоті, як аркуш паперу. За рахунок того, що ці спиці мають особливий перетин, при бічних навантаженнях колесо не деформується, так як спиці згинаються лише в одній площині. Таким чином, бічну жорсткість шини можна порівняти з суцільнолитою покриткою, а енергоємність колеса (здатність поглинати удари) тепер залежить не від тиску повітря в колесі, а від жорсткості спиць. Цим плюси Tweel не обмежуються. Наприклад, дослідний зразок від Michelin важив в кілька разів менше, ніж звичайне колесо на металевому диску.

Електросистема багі

Електричні автомобілі досить вигідні в експлуатації. Очевидно, що «паливо» для електричних транспортних засобів обходиться споживачам набагато дешевше, ніж їх заправка бензином. Незважаючи на те, що пробіг електромобілів на одному заряді батареї обмежений, це практично не помітно в процесі експлуатації електричного транспортного засобу, оскільки 50-60 км діапазону втрати заряду для більшості людей цілком достатньо для здійснення всіх їх щоденних поїздок. Єдиним мінусом електромобілів є досить значна вартість акумуляторів. Саме акумуляторна батарея є на даний момент найслабшою ланкою електричного автомобіля [2].

Основними електричними комплектуючими є:

- електричний двигун;
- контролер;
- акумуляторні батареї.

Контролер приймає струми від батареї і подає їх на електричний двигун. Завдяки парі потенціометрів (змінних резисторів), встановлених на педалі акселератора, забезпечується формування сигналу, що подається до контролера, стосовно того, скільки енергії він повинен подати. Коли автомобіль зупиняється, контролер не подає струму на двигун; під час же руху, при тиску на педаль акселератора (газу) контролер забезпечує подачу електричного струму на електродвигун [3].

Контролер зчитує імпульси з потенціометрів педалі газу і, відповідно до отриманих даних, регулює потужність електродвигуна.

На електробагі буде встановлено два безщіткові двигуни BLDC потужністю по 40 кВт. Зовнішній вигляд безщіткового двигуна BLDC наведено на рисунку 3.



Рисунок 3 - Зовнішній вигляд безщіткового двигуна BLDC

BLDC двигуни мають кращу продуктивність на відміну від традиційних DC двигунів, які не потребують обслуговування; більш ефективно економлять

запас заряду акумулятора. Водостійкий двигун абсолютно герметичний і не боїться короткострокового занурення в воду, виконаний з нержавіючої сталі, а запас його потужності дозволяє тримати максимальні навантаження без шкоди для двигуна. BLDC двигуни можуть працювати в стандартному або реверсному режимі, а також в режимі генератора електроенергії "рекуперації".

Розрахунок потужності BLDC двигуна

Розрахунки по необхідній потужності електродвигуна виконані на швидкості 60 км / ч, з кутом нахилу дорожнього полотна 0 градусів. Випадок рівномірного руху.

Споряджена маса електробагі 1300 кг

Вага однієї батареї LiFePO4 75 АН становить 1.9 кг (500 кг)

Вага електродвигуна 350 кг (2 шт.)

Вага контролера 6,5 кг (2 шт.)

Загальна маса з округленням 1450 кг

Маса водія 85 кг і маса пасажирів 85 кг

В результаті приймаємо повну розрахункову масу 1750 кг

Задаємося значеннями коефіцієнтів:

$C_x = 0,342$ (коефіцієнт аеродинамічного опору);

$S = 2\text{ м}^2$ (площа поперечного перерізу автомобіля);

$g = 9.81 \text{ м / с}^2$ (прискорення вільного падіння);

$m = 1470 \text{ кг}$ (маса автомобіля);

$F_{тр} = 0,018$ (коефіцієнт сили тертя для асфальту);

V_3 - (куб швидкості автомобіля в м / с); $60 \text{ км / год} = 16,67 \text{ м / с}$ (переводимо швидкість з км / год в м / с поділом на 3,6);

$\alpha = 0^\circ$ (кут нахилу дороги);

$\rho_v = 1,225 \text{ кг / м}^3$ (щільність повітря).

$W = g \cdot F_{тр} \cdot m \cdot V \cdot \cos\alpha + 0,5 \cdot C_x \cdot S \cdot \rho_v \cdot V^3 + g \cdot m \cdot \sin\alpha \cdot V$

$$W = 9,8 \cdot 0,018 \cdot 1750 \cdot 16,67 \cdot 1 + 0,5 \cdot 0,342 \cdot 2 \cdot 1,225 \cdot (16,67) \cdot 3 + 9,8 \cdot 1470 \cdot 0 = 5146 + 2340 + 0 = 7486 \text{ Вт.}$$

$F_{тр} = 0,05$ (коефіцієнт сили тертя для піску);

$$W = 9,8 \cdot 0,05 \cdot 1750 \cdot 16,67 \cdot 1 + 0,5 \cdot 0,342 \cdot 2 \cdot 1,225 \cdot (16,67) \cdot 3 + 9,8 \cdot 1470 \cdot 0 = 14295 + 2340 + 0 = 16635 \text{ Вт.}$$

Це скільки чистої енергії треба затратити на пересування. Частина енергії втрачається по дорозі з батареї. З цього, поділимо отриманий результат на загальний ККД (приводи й трансмісії (~ 0,76), електродвигуна (~ 0,90), контролера (~ 0,95)) приблизно рівний $0,76 \cdot 0,90 \cdot 0,95 = 0,65$.

Фактично з батареї треба видати більше енергії, поки передамо цю енергію на рух, частина загубиться в вузлах (на тертя, тепловіддачу).

Отже, $7486 / 0,65 = 11517 \text{ Вт}$ - таку потужність повинна видавати батарея.

Разом для руху по рівній дорозі зі швидкістю 60 км/год потрібно 11517 Вт потужності системи.

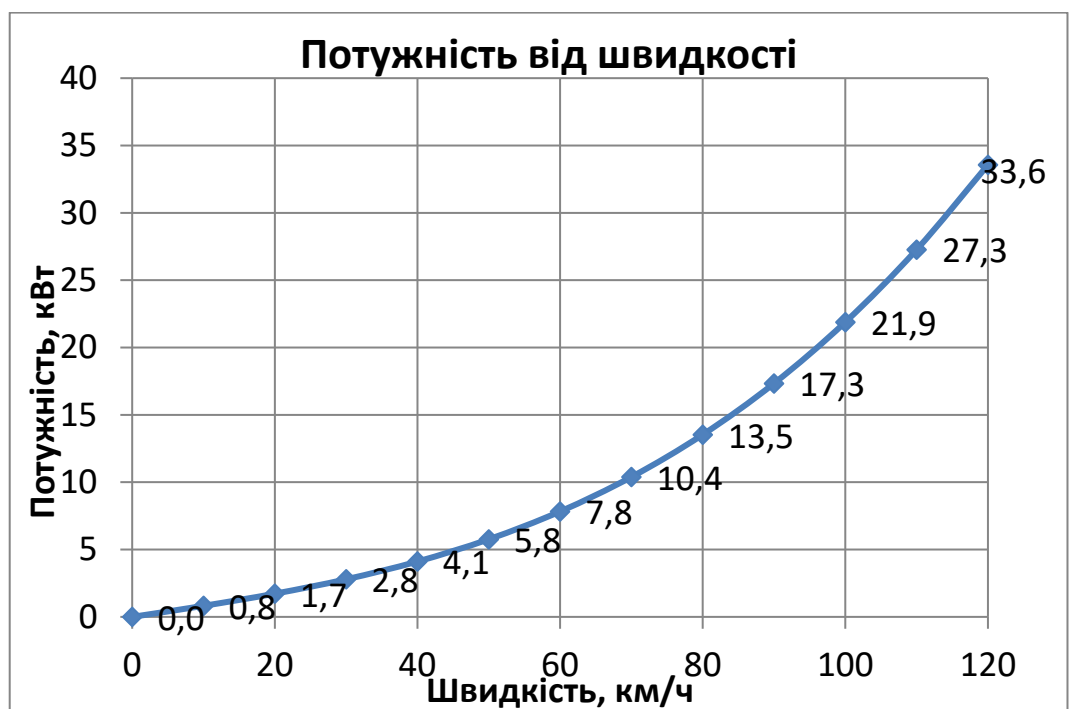


Рисунок 4 – Графік залежності потужності від швидкості

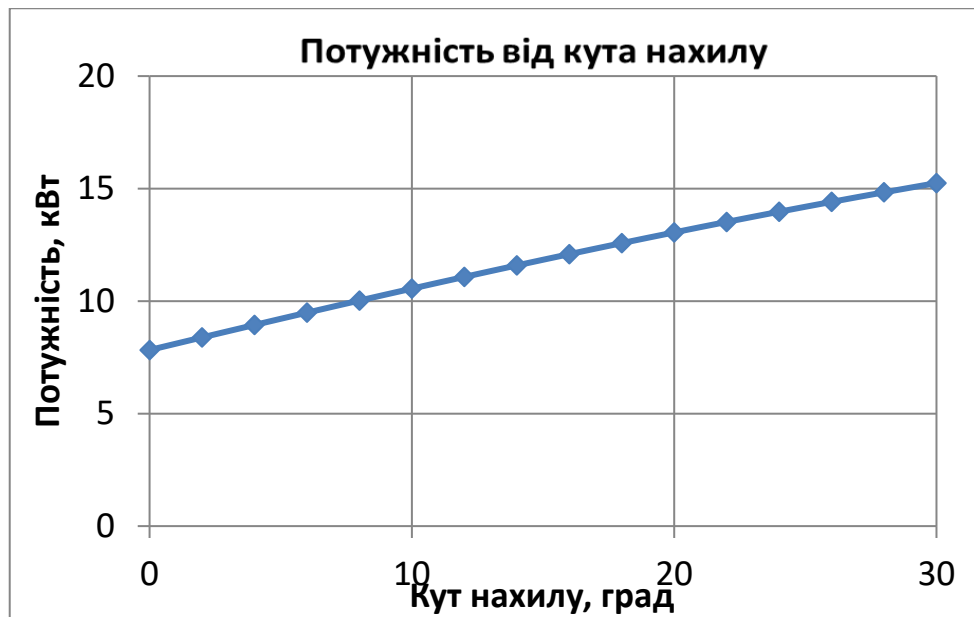


Рисунок 5 – Графік залежності потужності від кута нахилу

Контролер для безколекторних BLDC-моторів буде встановлений на електробагі в обов'язковому порядку, тому що саме цей блок відповідає за роботу всього двигуна. Для того, щоб правильно підібрати модель і визначитися з необхідними параметрами, потрібно знати, які основні відмінності існують.

Програмований контролер с запасом.

Контролери для безщіткових BLDC-двигунів розрізняються за типом управління, по типу сигналу і по типу зворотного зв'язку з мотором. Крім того, вони оснащуються різним набором конекторів і призначаються для моделей різної потужності [8].

Класифікація регуляторів для електродвигунів.

За типом управління:

-зміна оборотів з постійними моментом. Педаль газу впливає на зміну обертів, що дозволяє підтримувати приблизно однаковий момент на валу в усьому їх діапазоні. Такий тип контролера підходить для вентиляторів невеликих моторів, транспортний засіб буде занадто повільно розганятися [7].

-зміна моменту на валу двигуна. Тут педаль газу регулює момент, що призводить до високих обертів на старті і плавній зміні потужності та швидкості при русі. Це найбільш підходящий варіант для оснащення транспорту.

З метою підвищення рівня безпеки в педалі акселератора, в електробагі встановлено два потенціометра. Контролер, зчитуючи інформацію з них обох, переконується, що їх сигнали рівні. Якщо ж контролером будуть виявлені навіть найменші відмінності в сигналах - він не реагує на жоден з них [5].

На відміну від бензинового автомобіля, електричний є практично безшумним пристроєм. Частота контролера імпульсів становить 15000 раз в секунду. Оскільки такий діапазон пульсації просто не реально вловити людським слухом, робота контролера і електричного двигуна залишається практично безшумною для людини.

Багі буде обладнано двома електричними бортовими системами. Таке рішення приведе до збільшення запасу ходу автомобіля, зменшить навантаження на акумулятори, що в свою чергу збільшить їх термін експлуатації.

Перша система буде використовуватись для живлення електродвигунів. Для цього в нижній частині кузова буде встановлена тягова акумуляторна батарея. Багато провідних марок електромобілів встановлюють акумулятори саме в нижній частині кузова. Таке розташування призводить до того, що центр маси автомобіля буде приблизно всередині автомобіля, тому навантаження на передню і задню підвіску буде однаковим, а також це призведе до більш збалансованої роботи електродвигунів.

У більшості сучасних електричних машинах використовуються 4 типи акумуляторних батарей. Найпоширеніші - літій-іонні, алюміній-іонні і літій-сірчані. Іноді застосовують ще й метал-повітряні, де в якості металу виступають цинк, літій, натрій, магній або алюміній. Але ми будемо використовувати літій – залізо - фосфатні акумуляторні батареї LiFePO₄ (LFP), що є одні із видів літій-іонних акумуляторних батарей . Вони наведені на рисунку 6, в будові яких катод виготовляється з фосфату заліза [5]. LiFePO₄ акумуляторні батареї вважають без перебільшень вершиною технології силових акумуляторних батарей. Основні переваги LiFePO₄ над літій-іонними АКБ:

- кількість циклів заряду / розряду до втрати 20% ємності 2000-3000 шт.;

- тривалий термін експлуатації - понад 10 років, навіть в циклічному режимі;
- температурний діапазон від -30 до + 70 C⁰ зі збереженням початкових технічних характеристик;
- термічна і хімічна стабільність, істотно підвищує безпечність використання.



Рисунок 6 - Літій залізо фосфатні акумуляторні батареї LiFePO₄

Система управління батареї (BMS) - електронна система, яка управляє зарядним - розрядним процесом акумуляторної батареї, відповідає за безпеку її роботи, проводить моніторинг стану батареї, оцінку вторинних даних працездатності.

Система BMS (Battery Management System)

BMS (Battery Management System) - це електронна плата, яка ставиться на акумуляторну батарею з метою контролю процесу її заряду / розряду, моніторингу стану акумулятора і його елементів, контролю температури, кількості циклів заряду / розряду, захисту складових акумуляторної батареї. Система управління та балансування забезпечує індивідуальний контроль напруги і опору кожного елемента акумулятора, розподіляє струми між складовими акумуляторної батареї під час зарядного процесу, контролює струм розряду, визначає втрату ємності від дисбалансу, гарантує безпечне підключення / відключення навантаження.

На основі отриманих даних BMS виконує балансування заряду осередків, захищає акумулятор від короткого замикання, перевантаження по струму, перезарядження, перегріву і переохолодження. Функціональність BMS дозволяє не тільки поліпшити режим експлуатації акумуляторних батарей, а й максимально збільшити термін їх служби. При визначенні критичного стану батареї Battery Management System відповідно реагує, видаючи заборону на використання акумуляторної батареї в електросистемі - відключає її. У деяких моделях BMS передбачена можливість ведення реєстру (запису даних) про роботу акумуляторної батареї і їх подальшої передачі на комп'ютер [3].

Літій-залізо-фосфатні акумулятори (відомі як LiFePO₄), що істотно перевершують ряд інших акумуляторних батарей літій-іонної технології з точки зору безпеки, стабільності і продуктивності, також комплектуються схемами управління BMS. Справа в тому, що літій-залізо-фосфатні батареї чутливі до перезаряду, а також розряду нижче певної напруги. З метою зменшення ризику пошкодження окремих акумуляторних осередків і виходу акумулятора в цілому з ладу, всі LiFePO₄ акумулятори оснащуються спеціальною електронною схемою балансування - системою управління батареями (BMS).

Напруга на кожній з комірок, об'єднаних в літій-залізо-фосфатну батарею, має перебувати в певних межах і бути рівною між собою. Ситуація ж така, що ідеально рівна ємність всіх осередків, що входять до складу єдиного акумулятора - досить рідкісне явище. Навіть мала відмінність на пару часткою ампер-годин може спровокувати в подальшому відмінність рівня напруги при зарядно / розрядному процесі. Різниця в рівні заряду / розряду осередків єдиної LiFePO₄ батареї досить небезпечна, оскільки може зіпсувати акумулятор [5].

При паралельному з'єднанні осередків напруга на кожній з них буде приблизно рівною: більш заряджені елементи зможуть заряджати менш заряджені. При послідовному ж з'єднанні рівномірного розподілу заряду між осередками не відбувається, в результаті чого одні елементи залишаються недозарядженими, а інші перезаряджаються. І навіть, якщо загальна напруга по завершенні зарядного процесу буде близькою до ідеальної. Акумуляторна

батарея під час експлуатації не буде віддавати необхідної ємності, і через нерівномірний заряд швидко прийде в непридатність. Осередки з найменшим рівнем заряду стануть своєрідним "слабким місцем" акумулятора: вони будуть швидко піддаватися розряду, в той час, коли акумуляторні елементи більшої місткості будуть проходити тільки частковий розрядний цикл.

Уникнути негативних руйнівних процесів в акумуляторній батареї дозволяє метод балансування. Система управління та балансування осередків BMS стежить за тим, щоб всі осередки в кінці зарядки отримували рівну напругу. При підході зарядного процесу до кінця BMS робить балансування шунтуванням заряду осередків або ж переносить енергію елементів з великою напругою до елементів з меншою напругою. На відміну від активного балансування, при пасивному практично повністю заповнюється заряд, осередки отримують менший струм або виключаються з зарядного процесу до моменту, поки всі елементи акумулятора не матимуть рівний рівень напруги. Система управління батареєю (BMS), роблячі балансування, а також забезпечуючи контроль температури і виконання ряду інших функцій, максимально подовжує термін служби акумулятора.

Головна перевага самостійної збірки батарей з окремих осередків складається з можливості отримання збірної акумуляторної комплексу, максимально наближеного до запитів користувача з точки зору робочих параметрів і ємності. При купівлі комплектуючих для збірки LiFePO₄ батареї важливо звертати увагу не тільки на відповідність акумуляторних осередків між собою, а й дивитися на параметри BMS: напруга, струм розряду, кількість осередків, на який вона розрахована. Експлуатація літій-залізо-фосфатної акумуляторної батареї також передбачає використання виключно зарядного пристрою, що відповідає їй за типом. Напруга BMS повинна бути рівною загальній напрузі акумуляторної батареї.

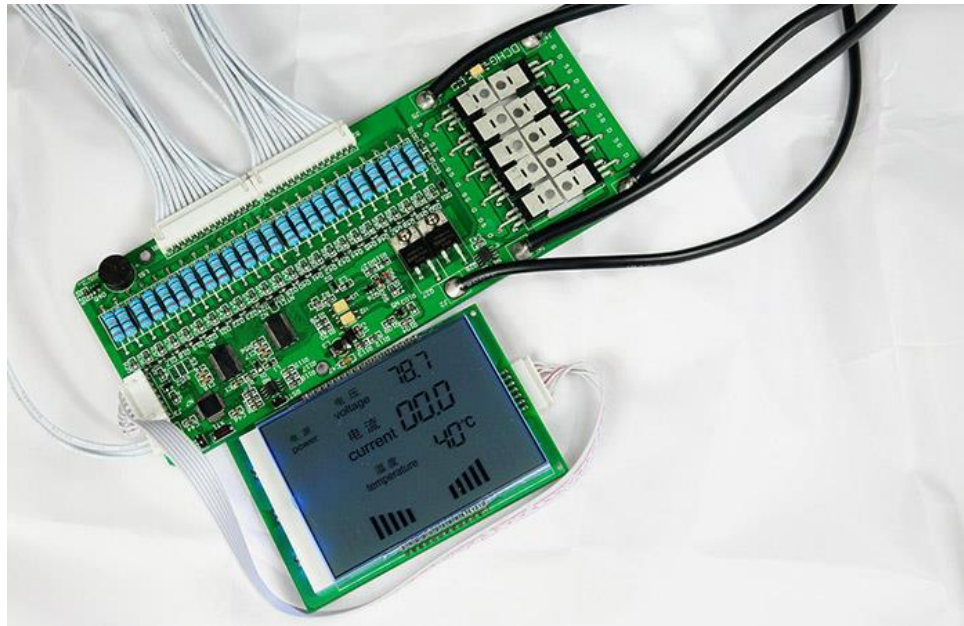


Рисунок 7 – Зовнішній вигляд BMS (BatteryManagementSystem)

Основні цілі застосування BMS (BatteryManagementSystem) в якості регулятора роботи акумуляторної батареї:

- захист акумуляторних батарей і цілої батареї від пошкоджень;
- збільшення терміну служби батареї;
- підтримання акумулятора в стані, при якому стане максимально можливим виконання всіх покладених на нього завдань.

1) Функції BMS (Battery Management System):

- контроль за станом елементів акумуляторної батареї;
- напруги: загальну напругу, напругу окремих осередків, мінімальне і максимальне напруження осередку;
- температури: середня температура, температура електроліту, температура на виході, температура окремих акумуляторних "клітин", плати BMS (електронна плата, як правило, оснащується як внутрішніми температурними датчиками, які проводять моніторинг температури безпосередньо регульовального пристрою, так і зовнішніми, які використовуються для контролю температури конкретних елементів батареї):
 - заряду і глибини розряду;
 - струмів заряду / розряду;
 - справності.

Система управління та балансування осередків може зберігати в пам'яті такі показники, як кількість циклів заряду / розряду, максимальне і мінімальне напруження осередків, максимальне і мінімальне значення струму заряду і розряду. Саме ці дані і дозволяють визначати стан справності акумуляторної батареї.

Неправильний заряд - одна з найбільш поширених причин виходу акумуляторної батареї з ладу, тому контроль заряду є однією з основних функцій мікроконтролера BMS.

2) Інтелектуально-обчислювальна.

На основі вище перелічених пунктів BMS проводить оцінку:

- максимального допустимого струму заряду;
- максимального допустимого струму розряду;
- кількості енергії, що поставляється внаслідок зарядки, або ж втрачається при розряді;
- внутрішнього опору осередку;
- сумарного напруження акумуляторної батареї в процесі експлуатації (загальної кількості циклів роботи).

3) Зв'язкова.

BMS може подавати вищезгадані дані на зовнішні вузли, знаходяться шляхом провідної або ж бездротової комунікації.

4) Захисна.

BMS захищає батарею, запобігаючи її вихід за межі безпечної роботи. BMS гарантує безпеку підключення / відключення навантаження, гнучке управління навантаженням, захищає акумуляторну батарею від:

- перевантаження по струму;
- перенапруження (під час зарядки);
- падіння напруги нижче допустимого рівня (під час розряду);
- перегріву;
- переохолодження;
- витоку струму.

BMS може запобігти зносу акумуляторної батареї шляхом безпосереднього впливу на неї або ж подачі відповідного сигналу про неможливість подальшого використання акумулятора до пристрою (контролера). Система інтелектуального моніторингу (BMS) відключає акумуляторну батарею від навантаження або зарядного пристрою при виході хоча б одного з робочих параметрів за межі допустимого діапазону.

5) Балансування.

Балансування - це метод рівномірного розподілу заряду між усіма осередками акумуляторної батареї, завдяки чому максимально продовжується термін служби акумулятора.

BMS запобігає надмірному перезаряду, недозаряду і нерівномірному розрядному процесу в окремих акумуляторних осередках:

- здійснюючи "перетасування" енергії від найбільш заряджених клітин до менш заряджених (активне балансування);

- знижуючи до достатнього низького рівня надходження струму до практично повністю зарядженого осередку, одночасно з тим, коли менш заряджені акумуляторні клітини продовжують отримувати нормальний зарядний струм (принцип шунтування);

- забезпечуючи процес модульної зарядки;

- регулюючи вихідні струми осередків акумулятора, підключеного до електропристроїв.

З метою захисту плати BMS від негативного впливу вологи і пилу її покривають спеціальним епоксидним герметиком.

Не завжди акумулятори мають тільки одну систему управління і балансування. Іноді замість однієї плати, BMS під'єднуються за допомогою проводів до акумуляторної батареї і контролера, використовується відразу кілька пов'язаних між собою регульовальних електронних плат, кожна з яких управляє певною кількістю осередків і подає вихідні дані до єдиного контролера [2].

Те, скільки акумуляторів потрібно для конкретної сонячної батареї, буде залежати від максимального запланованого обсягу накопичуваної потужності

(ємності). Досить скомбінувати необхідну кількість АКБ з послідовною, паралельною або змішаною системою підключення. Однак для схеми з декількома накопичувачами постійно рекомендується використовувати обладнання з ідентичними параметрами, від одного виробника, а також обов'язковий є контролер заряду акумулятора для сонячної батареї – оскільки без автоматичного контролю заряду і розряду будь-яка акумуляторна система швидко вийде з ладу [5].

Крім вибору АКБ, ще більш важливим є вибір найбільш ефективних панелей. В умовах слабкої освітленості і проблем з розміщенням фотоелементів під прямим кутом до сонця – сонячні батареї на кадмій-телуровій основі (Cd-Te) від «First Solar» (США) - ідеальний вихід із ситуації. В Україні їх офіційний представник – компанія Green Tech Trade.

Друга система енергозабезпечення багі буде використовуватись для світлової системи автомобіля, в системі охолодження і підігріву батарей, заряджання електричних пристроїв (лептопів, планшетів, рацій, дронів).

Принцип роботи сонячних панелей

Основу сонячної панелі формує кристалічний фотоелемент – активна частина, яка при потраплянні на неї сонячного проміння, перетворює її на електричний струм. Даний фотоелемент поділяється на монокристал та полікристал. Окрім фотоелемента, в склад сонячної панелі входять струмознімні доріжки, котрі переносять згенерований струм з фотомодуля до розподільчої коробки. Дана коробка у більшості якісних панелей обладнана захисними діодами Шотткі, що захищають її від затінення та перегрівання. Фотоелемент, для ізоляції струму, ламінують спеціальним EVA – шаром, який герметизує елементи панелі, захищає їх від корозії та впливу навколишнього середовища.

Принцип роботи сонячної панелі будується на фотогальванічному ефекті, котрий показує, що сонячний промінь можна перетворити на електроенергію, накопичувати та використовувати її завдяки роботі напівпровідників. Якщо коротко охарактеризувати даний процес, то він відбувається так: сонячний промінь потрапляє на поверхню рп – шару провідника та вибиває з нього

електрони. Після цього дані електрони з певним зарядом переміщуються по колу, що дозволяє живити електроспоживача, підключеного до даного кола.

Гнучкі сонячні панелі встановлюються на кузовні елементи багі і будуть служити не тільки для підзарядки кальцієвих акумуляторів, а й для підзарядки тягових батарей.

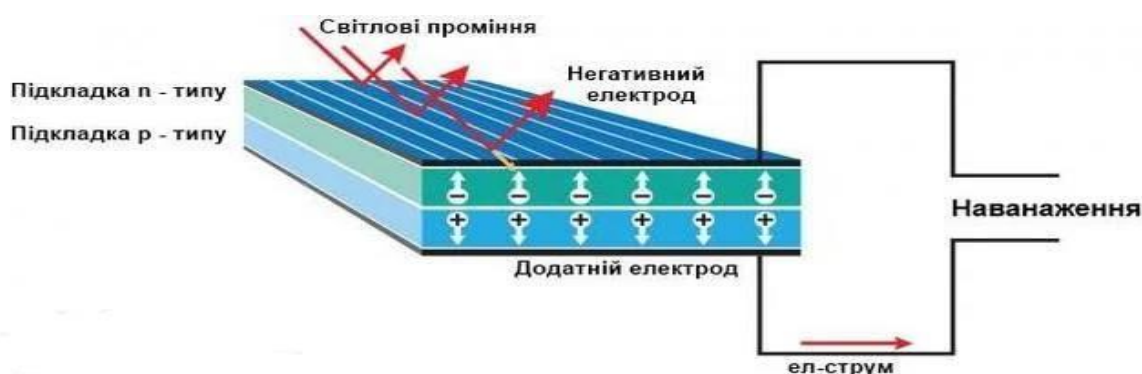


Рисунок 8 – Принцип роботи сонячних панелей

Однією з найбільш поширених проблем, яка може виникати при роботі сонячної панелі є затінення. При затіненні частини панелі даний сектор перестає генерувати електроенергію. Інші частини панелі, що працюють, намагаються «компенсувати» її роботу. Як наслідок – відбувається високе перевищення напруги, що супроводжується надмірною температурою, яка може просто спалити панель. Сучасні виробники намагаються активно боротися з даною проблемою, використовуючи діоди Шотткі для захисту панелі від перегріву [5].

Переваги сонячних панелей.

По-перше, установка панелей дозволяє авто заряджатися під час руху або стоянки. Крім того, якщо до найближчої зарядної станції їхати далеко і довго, то при сонячній погоді час руху авто продовжується без будь-яких зусиль або зайвих дій з боку водія. Гнучкі сонячні панелі на авто допоможуть скоротити час перебування на заправці [1].

Тонкоплівкові модулі сонячних панелей складаються з основи (скло, пластикова плівка або металізована фольга), двох шарів фотоелектричного напівпровідника (наносяться методом напилення) і декількох шарів плівок (відражаючої, захисної і т.п.).

ККД перших гнучких сонячних панелей було всього 4-5%. Але з часом, технології дозволили поліпшити цей показник. ККД сучасних моделей тонкоплівкових панелей, в залежності від виробничих особливостей коливається від 12% (гнучкі сонячні панелі з аморфного кремнію) до 18% (у телуриду-кадмієвих) [5].

Панелі цього виду мають кілька суттєвих переваг в порівнянні з іншими представниками галузі:

- вага: оскільки плівкові панелі набагато легші кремнієвих це не буде сильно впливати на ходові якості багі;
- ціна: завдяки виробничим процесам ціна на плівкові панелі нижче ніж на кремнієві;
- мобільність: деякі види плівкових панелей можна згорнути в рулон, що значно спрощує транспортування і дає додаткові можливості використання в різних локаціях;
- міцність: батареї стійко витримують негоду;
- напівпрозорість: деякі моделі настільки тонкі, що можуть бути встановлені на вікнах.

Тонкоплівкові варіанти використовують в електромобілях, яхтах і літаках. Вага є вирішальним фактором при виборі спорядження для альпіністів і походів в гори, тому гнучкі сонячні батареї – ідеальний варіант в такій ситуації.

Розрахунок: скільки виробляє Вт сонячні панелі.

Потужність сонячної батареї = сонячна радіація · ефективність перетворення · площа батареї;

Величина сонячної інсоляції в різних регіонах України суттєво відрізняється. Усереднено можна вважати, що кожен 1 кВт потужності сучасних високоякісних панелей забезпечить наступну щорічну генерацію електроенергії по областях при ідеальних умовах:

- північні, північно-західні – 1035 кВт·год;
- західні – 1070 кВт·год;

- центральні – 1125 – 1175 кВт·год;
- східні, південні – 1225-1275 кВт·год;

Щоб розрахувати, скільки дає енергії сонячна батарея, наприклад, потужністю 250 Вт, наведені цифри знадобиться розділити на чотири. Це дасть наступні середні цифри (рік):

- Рівне, Суми – 275 кВт·год (північ, північний захід);
- Дніпро, Київ – 300 кВт·год (центр);
- Херсона, Миколаїв – 325 кВт·год (південь).

Ще більш значна сезонна різниця в генерації. Через нахил земної осі тривалість світлового дня максимальна влітку і мінімальна взимку.

Основними споживачами в додатковій системі електрозабезпечення багі є система освітлення, система охолодження, система зарядки електрообладнання.

В системі освітлення основними споживачами являються лампи ближнього та дальнього світла – 50Вт, додатковий прожектор- 30Вт, габаритні лампи – 8Вт, стоп-сигнали - 15Вт, ліхтарі заднього ходу - 15Вт. Система при використанні світлодіодних лам буде використовувати 118 Вт.

В системі охолодження використовується електрична помпа 21Вт.

В системі заряджання електрообладнання буде використовуватись зарядні пристрої для смартфонів, рацій, планшетів, лептопів сумарною потужністю 100Вт.

За допомогою формули 1 проведемо розрахунок ємності акумуляторної батареї необхідної для живлення додаткової системи.

$$Q = (P \cdot t) / V \cdot k \quad (1)$$

де Q - необхідна ємність акумулятора, А · год;

P - наявне навантаження, 239 Вт;

V - напруга кожної акумуляторної батареї, 12 В;

t - час резервування, 8 год;

k - коефіцієнт використання ємності акумуляторів (кількості електричної енергії, допустимої до використання споживачами) 0.7.

$$Q = (239 \cdot 8) \cdot 12 \cdot 0.7 = 227 \text{ А} \cdot \text{год}$$

Для безперебійної роботи допоміжного електрообладнання без зарядки від сонячних панелей протягом 8 годин автомобіль буде обладнаний акумулятором ємністю 250А·год. Після 68 часового використання без заряджання ємність буде знижуватись. При цьому електрообладнання буде продовжувати працювати, але не на повну потужність [2].

Із розрахунків встановлено, що автомобіль повинен бути обладнаний сонячними панелями площею 2,5 м².

ККД сонячних панелей, наявних на ринку, становить від 7% до 20%, залежно від типу модулів, що перетворюють енергію. У більшості випадків, це кремній.

Отже, підрахуємо:

$$1000 \text{ Вт} / \text{кв.м} \cdot 20\% \cdot 2,5 \text{ кв.м} = 500 \text{ Вт};$$

500 Вт - це максимальний результат, який видає сонячна батарея розмірів 2,5 кв.м в ясний літній день. Якщо сонце наближається до заходу, а день видався хмарним, тоді:

$$\text{Прихід сонячної енергії} = 1000 \text{ Вт} / \text{кв.м} \cdot \sin 30^\circ \cdot 60\% = 300 \text{ Вт} / \text{кв.м}$$

де 30° - це кут між сонячними променями і поверхнею сонячної батареї, а 60% - кількість енергії, що поглинається в хмарний або зимовий день.

Незважаючи на екологічність виробництва, такий вид видобутку енергії має багато противників. Пік споживання електрики - це вечірні години. Якраз в цей час зменшується кількість сонячної радіації, що не дає можливості споживати велику кількість енергії. При нагріванні на 1°С скорочується термін служби сонячних панелей на 0,5%. Коли перегрів досягає 10°С, їх ефективність падає в 2 рази. Для охолодження сонячних панелей підключають вентилятори, які споживають енергію. При цьому їм необхідно техобслуговування, а пасивні системи охолодження не справляються зі своїм завданням [3].

Також на розвиток і впровадження електромобілів дуже сильно впливає прогрес нових видів акумуляторних панелей та систем рекуперації

електроенергії. Ефективність процесу рекуперації електроенергії залежить від багатьох чинників: типу транспортного засобу, електричного двигуна, акумуляторних панелей, але в цілому цей показник становить 60-70%. Системи рекуперативного гальмування втрачають 10-20% від захопленої енергії, після цього втрачають ще стільки ж в процесі її перетворення в заряд для акумуляторних батарей. Таким чином, використання системи рекуперативного гальмування дозволяють повернути 70%, кінетичної енергії втраченої під час гальмування, щоб потім знову використовувати її для прискорення транспортного засобу. В цілому, сам факт того, що ми навчилися зберігати нехай і не 100%, а лише невелику частку кінетичної енергії за допомогою рекуперативного гальмування, та стали використовувати її для підзарядки акумуляторних батарей, є важливим фактором для збільшення запасу ходу.

Використання у військовій сфері та подвійного призначення багі на електроприводі з системою рекуперативного гальмування з підзарядкою від сонячних панелей, а саме патрулювання в гірській місцевості, є достатньо ефективним, завдяки запасу ходу, який буде досить великим при застосуванні даної системи. Також перевагою є велика маневреність, невелика маса і простота конструкції. Автомобіль може застосовуватися як дозорно-розвідувальний автомобіль, машина вогневої підтримки підрозділів, для доставки боєприпасів, для патрулювання, евакуації поранених або як командно-штабний транспорт [2].

Бездротова зарядка

Бездротова зарядка працює на принципі магнітної індукції або індуктивної передачі енергії (ІРТ). Вся зарядка пристрою за технологією Qi проводиться в п'ять кроків, які наведені нижче:

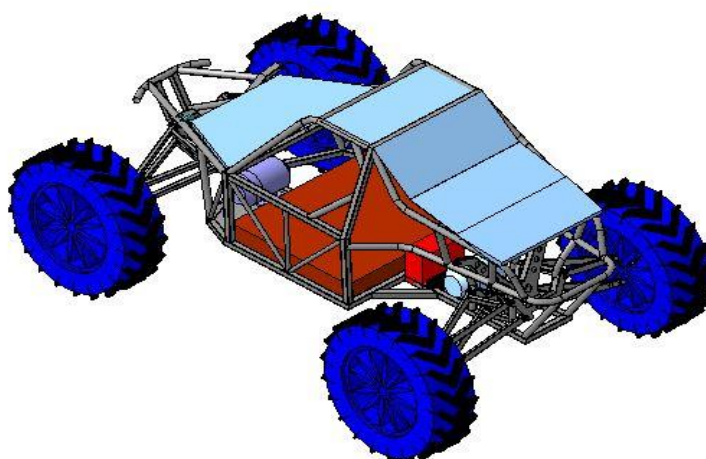
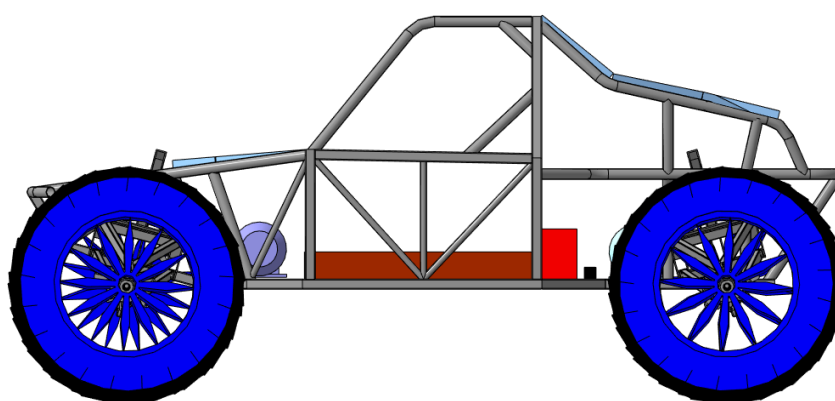
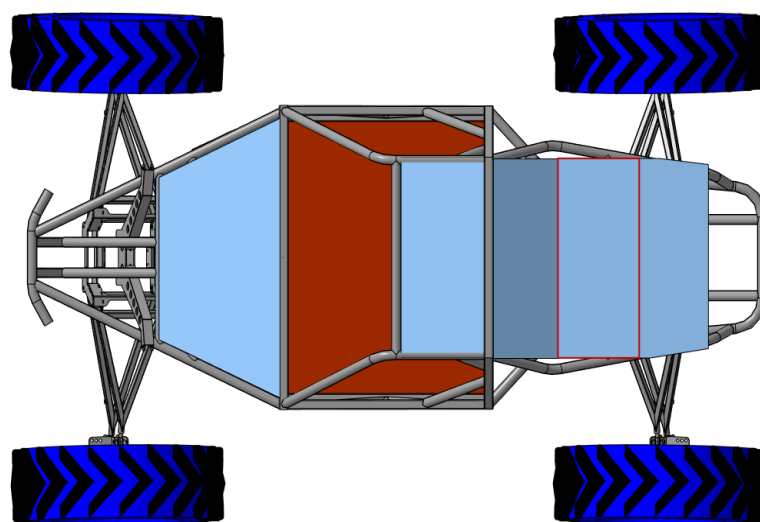
- напруга мережі перетворюється в високочастотний змінний струм;

- змінний струм посиляється на котушку передавача по ланцюгу самого передавача, після цього змінний струм індукує, змінюється в часі магнітне поле в котушці передавача;

- змінний струм, що протікає всередині котушки передавача, індукує магнітне поле, яке поширюється на котушку приймача (це відбувається тільки в тому випадку, коли обидві котушки розташовані на максимально допустимій відстані один від одного);

- магнітне поле генерує струм в котушці приймача. Процес, за допомогою якого енергія передається між котушками передавача і приймача, також називають резонансним зв'язком. Струм, який потрапить в котушку приймача, перетворюється в постійний за допомогою схеми приймача. Після цього струм вже використовується для зарядки акумулятора пристрою. Для даного проекту її потужність повинна складати 10 кВт/год. Існує також можливість контактної зарядки.

Ілюстровані матеріали



Висновки

В науковій роботі було спроектовано багі на електроприводі подвійного призначення як один з різновидів спеціального електротранспорту в Україні.

Визначено переваги багі, в порівнянні з аналогами з бензиновими двигунами. Описані всі системи, які були встановлені на електробагі, розраховано потужність двигуна, кількість електроенергії, яка буде споживатись бортовою системою.

Також на основі розрахунків було визначено ємність акумуляторної батареї, необхідної для живлення додаткової системи, площу сонячних панелей і кількість енергії, яка буде споживатись від підзарядки сонячних панелей, що суттєво вплине на запас ходу транспортного засобу та ресурс акумуляторної батареї.

З наведеного вище можна зробити висновок, що в Україні існує нагальна потреба в розвитку багі на електроприводі для військового та подвійного призначення, які мають значну кількість переваг, в порівнянні з багі з двигунами внутрішнього згорання.

Перелік посилань

1. Електромобілі. Історія завдовжки в століття : веб-сайт. <http://www.eco-live.com.ua/content/blogs/elektromobili-istoriya-zavdovzhki-v-stolittya> (дата звернення 25.12.2019).
2. Етапи розвитку електромобілів і їх конструкції. Електромобіль: техніка та економіка : веб-сайт. <http://uk.shram.kiev.ua/megafaza/history/electromobi.shtml> (дата звернення 19.12.2019).
3. Електромобілі. Розвиток електромобілів : веб-сайт. <http://www.novaecologia.org/voecos-1356-1.html> (дата звернення 30.12.2019).
4. Електрокари. Україна - країна-лідер Європи на ринку продажів електромобілів : веб-сайт. http://zaxid.net/news/showNews.do?ukrayina_uviyshla_v_desyatku_krayinlideriv_ye_vropi_na_rinku_prodazhiv_elektromobiliv&objectId=1407380 (дата звернення 10.12.2019)
5. Електрозапчастини.: веб-сайт. <https://goldenmotor.ua/category/bldc-motory/> (дата звернення 10.01.2020).
6. Мазепа С. С. Електрообладнання автомобілів. Львів : Львівська політехніка, 2014. 345 с.
7. Сажко В. А. Електрообладнання автомобілів і тракторів. К. : Каравела, 2014. 234 с.
8. Шевчук Я. В. Автотранспортна інфраструктура: теорія і методи сучасних регіональних досліджень. Ужгород : Ліга-Прес, 2011. 367 с.
9. Шевчук Я. В., Губані Г. Г., Чобаль Л. Ю. Соціально-економічні аспекти розвитку виробництва інноваційних транспортних засобів. Науковий вісник Ужгородського університету. Ужгород, 2015. Вип. 2(46). С. 154-160.