

Шифр «Високопотужний електрокартинг»

ЕЛЕКТРОКАРТИНГ З НЕЗАЛЕЖНОЮ ЕЛЕКТРИЧНОЮ
БОРТОВОЮ СИСТЕМОЮ З МОЖЛИВІСТЮ ПІДЗАРЯДКИ
ВІД СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ ТА БЕЗДРОТОВОЮ ЗАРЯДКОЮ

Зміст

Вступ	3
1 Історія картингу	4
2 Конструкція електрокартингу	4
3 Гальмівна система електрокартингу.....	5
4 Трансмісія електрокарту.....	5
5 Система охолодження електрокарту	6
6 Електросистема карту.....	7
7 Система BMS	11
8 Порівняння з іншими моделями	12
9 Ілюстровані матеріали.....	14
Висновок.....	16
Перелік посилань.....	17

Вступ

Останнім часом в Україні користуються популярністю електрокартинги (електрокарти). Вони мають достатню, для початку їх масового виробництва, кількість переваг в порівнянні з бензиновими картингами. Попри однакові значення потужності електрокартинг має наступні переваги:

- оснащення системою рекуперації енергії;
- простота конструкції, що відіграватиме важливу економічну роль при експлуатації;
- доступний крутний момент з нуля, тобто на всьому діапазоні обертів двигуна;
- ККД більше ніж у 2 рази;
- екологічно чистий.

Електрокартинг – невеликий за розмірами гоночний автомобіль з відкритими колесами, що приводяться в рух одним або декількома електродвигунами з живленням від акумуляторів або паливних елементів тощо, а не двигуном внутрішнього згорання. 60-70 % в електрокартингах — це електрична складова від загальної вартості, а серед електричної компоненти 50% — це вартість акумуляторної батареї.

Тож, метою роботи є привернути увагу до питання щодо масового виробництва електрокартингів, а саме покращити якість акумуляторних батарей, підвищити термін їх служби та збільшити запас ходу від них. Також необхідно спрогнозувати перспективи конкурентної спроможності, порівняти переваги і недоліки електрокартингу серед інших країн світу.

1. Історія картингу

Картинг – це один із найбільш технологічних видів спорту, в якому змагання проходять на простих гоночних автомобілях без кузова. Картинг також поділяють на спортивний та прокатний.

Його історія починається в 1950-ті роки. Виробництво картингів почалося в 1956 році, на рік пізніше побудували перший картодром, а уже в 1960 році картинг офіційно був визнаний видом автоспорту. В ті часи картинги були простої конструкції та мали малу потужність двигуна. Завдяки цим чинникам картинг був недорогою та популярною розвагою, проте не мав жодних заходів безпеки.

Тільки в 2007 році почали виготовляти картинги з електродвигуном, який, окрім екологічності, мав масу переваг, серед яких є економічність. Щодо інших чинників, то ані потужність, ані надійність не стали меншими попри зміни.

Першим електрокартингом в Чернігівській області став ELECTRO ONE від компанії BikeBox. Маючи вагу 96 кг, його максимальна швидкість становить 45 км/год, а максимальне навантаження на картинг – 110 кг. Також він має три режими руху: дитячий, дорослий та професіональний. Обмеження швидкості кожного режиму складає 16, 25 та 45 км/год відповідно. Окрім цього, на картинг встановлені гідравлічні дискові гальма, електродвигун, потужністю 1кВт та тягова акумуляторна батарея Volta bikes, типу AGM.

Зараз розроблений уже другий електрокартинг від BikeBox, який має значно більшу потужність, ніж перший. Саме його характеристики будуть описані в даній роботі.

2. Конструкція електрокартингу

Електрокартинг високої потужності має достатньо просту будову в порівнянні з картингом з бензиновим двигуном внутрішнього згорання. Це дає йому значно помітну перевагу не тільки в обслуговуванні, а ще і в швидкому розгоні від нуля. Крім цього, електрокартинг обладнаний міцними шасі, також має не менш міцну раму, що збільшує його загальну надійність, адже саме це відіграє найбільшу роль при зіткненнях.

Електрокартинг високої потужності має кращу маневреність та аеродинаміку, ніж його бензиновий аналог, перш за все, завдяки компоновці та конфігурації розташування електрообладнання. Попри достатньо просту конструкцію, електрокартинг дуже впевнено «відчуває» себе під час руху, адже має низький центр мас, завдяки низькому кліренсу. Так, 60% всієї маси припадає на задню частину карту, а 40% – на передню. Велику роль відіграє також широка база конструкції.

Електрокарт оснащений незалежною жорсткою підвіскою, тож при нерівностях поверхні дороги немає шансів втратити керування. Амортизатори відсутні, тому їх роль відіграють шини та рама карту.

3. Гальмівна система електрокартингу

Робоча гальмівна система карта служить для зниження швидкості під час руху з необхідною ефективністю аж до повної його зупинки. На розробленому електрокарті встановлені дискові гідравлічні гальма з заднім приводом на вісь коліс. Вони приводяться в дію зусиллям ноги водія, яке прикладене до відповідної педалі. Гальма мають високу ефективність, яка залежить прямо від цього зусилля.

Електрокарт має рейковий механізм рульового керування. Він має покращений кут повороту коліс, в порівнянні з попередником. Це відбулося насамперед завдяки використанню принципу Аккермана, який дозволяє встановити різний радіус повороту коліс.

4. Трансмісія електрокарту

На карті встановлено електричну систему перемикання передач, яке здійснюється за допомогою перемикачів, від яких сигнал подається на контролер. Встановлено два режими руху: на підвищеній та зниженій передачі. До того ж, вони доступні для руху і вперед, і назад, що є значною перевагою над іншими, зокрема бензиновими, картами. Зокрема, саме на підвищеній передачі електрокартинг може набрати потужність до 22кВт, а максимальна швидкість становить до 180 км/год, що є неймовірно високим показником серед

електрокартів. Для порівняння, Rotax Project E20 (Італія), з максимальною потужністю в 24кВт має максимальну швидкість в 135км/год.

5. Система охолодження електрокартингу

Майже на всіх електричних картингах встановлені літієві батареї. Ціна їх достатньо велика, іноді вона навіть може перевищувати половину від вартості автомобіля. Робота такої батареї повністю може оправдати свою ціну, але в неї також є недоліки. Зокрема, теплоємність акумулятора тісно залежить від температури навколишнього середовища, тому на жарі вона підіймається, а на морозі падає. Саме цей чинник може зменшити тривалість максимальної роботи батареї вдвічі, тобто з 6 років до 2-3.

Подібні проблеми негативно позначаються на репутації електрокартингів – це ще одна причина їх недостатньої популярності. Через цей чинник на ринку картингів переважають саме картинги з бензиновими двигунами.

Але і для цієї проблеми знайдено рішення. Існує багато систем охолодження, які можуть бути призначені як для електромобілів, так і для іншої електротехніки. Зазвичай їх теплоємність в кілька разів більша, ніж у води. Так, в запропонованому електрокарті встановлено систему охолодження CryoSolplus, яка має охолоджувач з води, етиленгліколю (він запобігає замерзанню) і парафіну. Також, CryoSolplus виступає хорошим аналогом інших існуючих охолоджувальних систем та коштує всього на 100 євро дорожче, ніж її водний аналог.

Живлення системи охолодження здійснюється від окремої акумуляторної батареї 12 В, ємність якої складає 22 А/год. Акумулятор в свою чергу заряджається від сонячних панелей. Система охолодження ділиться на 2 незалежні контури. Перший направлений до контролера через змієвик, помпу та радіатор, а другий до електродвигуна через сорочку охолодження, помпу та радіатор. На електрокартингу встановлено 2 помпи Pierburg з напругою 12 В та два радіатори NISSENS розмірами 235x157x42мм.

6. Електросистема карту

Основними електричними комплектуючими є:

- електричний двигун;
- контролер;
- акумуляторні батареї.

В електрокартингу високої потужності встановлено електричний двигун BLDC HPM10KW. Він має високий ККД за рахунок більш ефективної економії запасу заряду акумулятора. Основними перевагами двигуна є його водостійкість, тому що він виконаний з нержавіючої сталі в герметичному корпусі. Електродвигун має наступні характеристики:

1. Напруга: 96В
2. Номінальна потужність: 10кВт
3. Пікова потужність: 22кВт
4. Кількість обертів двигуна: 3000-6000rpm
5. Номінальний крутний момент: 26Нм
6. Піковий крутний момент: 90Нм
7. Ефективність: >90%
8. Вага: 17.7кг

В електрокартингу високої потужності використовується синусний контролер Kelly KLS-H, рисунок 1.



Рисунок 1 – Контролер Relly KLS-H

Контролер призначений для зчитування імпульсу з потенціометрів педалі газу та, відповідно, регулювання потужності двигуна згідно отриманих результатів. Саме контролер відповідає за роботу всього двигуна.

Цьому контролеру доступно безліч необхідних функцій, наприклад: настраюється діапазон захисту температури двигуна, постійний контроль напруги заряджання акумулятора під час повторного гальмування, круїз контроль, який активується лише при русі вперед та багато інших функцій, які забезпечують безперервну та якісну роботу всієї системи. Також він має наступні технічні характеристики:

- періодичність роботи: 10КГц або 20КГц;
- струм акумулятора в режимі очікування: $< 0.5\text{mA}$;
- струм живлення датчика 5В або 12В: 40 мА;
- діапазон напруги в контролері живлення: PWR, 18В до 90В для контролерів з оцінкою рівних або нижче 72В;
- струм постачання: PWR, 30мА, типовий;
- стандартний дросельний вхід: 0-5 В (3-дротовий потенціометр), 1-4 В (зал активної дросельної заслінки);
- дросельна заслінка: 0-5 В. Можна використовувати 3-дротовий потенціометр для отримання сигналу 0-5 В;
- діапазон повної робочої температури: від 0 до 70°C (температура MOSFET);
- діапазон робочих температур: від -40 до 100°C (температура MOSFET).

Стандартна електропроводка контролера, що також описує принцип його дії, зображена на рисунку 2.

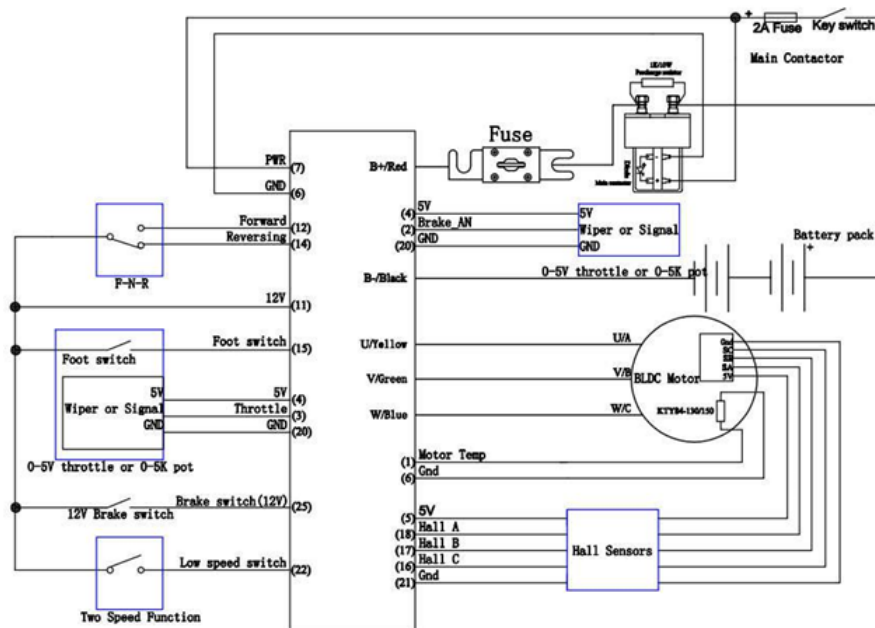


Рисунок 2 – Стандартна електропроводка контролера KLS-H

На картингу використовуються літій-залізо-фосфатні акумуляторні батареї LiFePO₄, які є одним із видів літій-іонних акумуляторних батарей. Вони наведені на рисунку 3. Катод в акумуляторних батареях виготовляється з фосфату заліза. Такий акумулятор вважається вершиною технології в даній галузі.

Акумуляторні батареї встановлені по обидва боки від водія карту на спеціальних кріпленнях. Це зроблено задля кращої аеродинаміки всього карту. На акумуляторах будуть встановлені сонячні батареї. Загальна площа панелей складає 0,5 кв.м.

Максимальний результат від сонячних батарей в ясний літній день складає 100 Вт . Цей показник тісно залежить від ККД сонячних панелей, який становить від 7% до 20%, залежно від типу модулів, що перетворюють енергію. У більшості випадків, це кремній.

Тонкоплівкові модулі сонячних панелей складаються з основи, в яку входить скло, пластикова плівка або металізована фольга, двох шарів фотоелектричного напівпровідника, які наносяться методом напилення і декількох шарів плівок, тобто відріжачої, захисної та інших.



Рисунок 3 – Літій-залізо-фосфатні акумуляторні батареї

До того ж, доступна функція безконтактного заряду акумулятора від безконтактної зарядки, потужність якої може становити до 5 кВт. Вона зображена на рисунку 4, а її розташування відносно картингу зображено на рисунку 5.

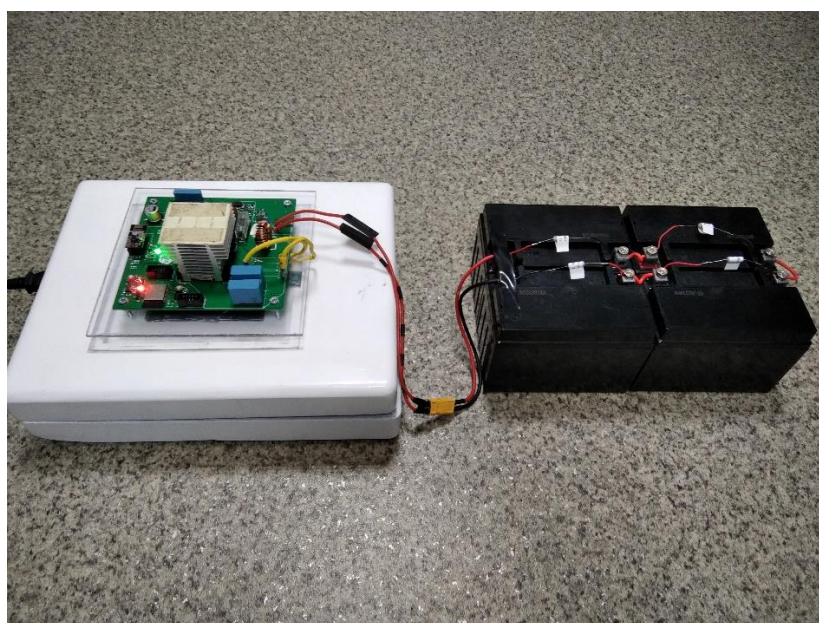


Рисунок 4 – Безконтактна зарядка



Рисунок 5 – Розташування безконтактної зарядки

7. Система BMS

Battery Management System (BMS) – 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. Вона встановлюється на всі види електротранспорту і є невід'ємною частиною його системи, яка зображена на рисунку 6. На картинку система встановлена задля захисту батарей від пошкоджень, підтримання робочого стану акумулятора та збільшення терміну служби батареї.

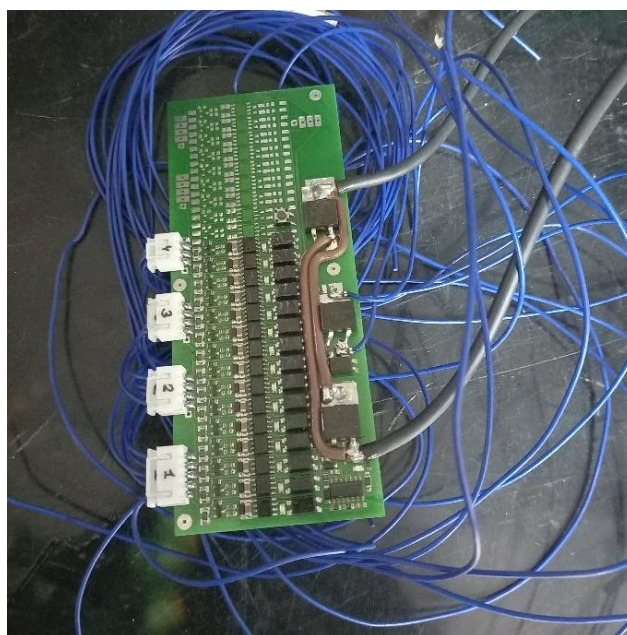


Рисунок 6 – Система BMS

8. Порівняння **BikeBox** з іншими моделями

Раніше вже згадувався картинг Rotax E20, рисунок 7. Якщо порівнювати з електрокартингом високої потужності, то в ньому встановлений синхронний двигун з постійним магнітом (PMSM) з інтегрованою трансмісією. Такі двигуни використовуються для високодинамічних та прецизійних застосувань, які вимагають точного відпрацювання швидкості/положення. Явнополюсні синхронні двигуни з постійними магнітами надійніші, порівняно з неявнополюсними, завдяки розміщенню постійних магнітів в пазах ротора. Така конструкція призводить до виникнення явища явнополюсності та сильної реакції ротора. Це дозволяє працювати в області швидкостей вищих за синхронну, проте призводить до ускладнення математичної моделі.



Рисунок 7 – Електрокарт Rotax E20

В Rotax E20, як і в інших електрокартівах, встановлені літій-іонні акумулятори. Вони включають в себе BMS (система керування батареями) та IMD (пристрій контролю ізоляції). Варто зазначити, що акумулятор має повітряну систему охолодження, як і в електрокартингу високої потужності. Крім того, карт Rotax E20 має спеціально розроблений VCU – блок керування

автомобілем. Номінальний вольтаж системи карту становить 350 В, що значно більше, ніж у електрокартингу високої потужності.

Якщо порівнювати реальні властивості акумулятора, то різниця доволі значуща, так як акумулятор нашого картингу витримує близько години безперервної роботи, а повна зарядка триває 3 години. До того ж, є можливість швидкої зарядки за 30 хвилин. Електрокарт Rotax E20 витримує близько 40 хвилин, а заряджається 90 хвилин до повного заряду.

Взагалі, в картингу Rotax та електрокартингу високої потужності E20 є досить багато спільного. В обох електрокартингах доступне електронне гальмування, буст система, застосовується принцип рекуперації, а також є функція реверсу, яка експлуатується водієм. Крім цього, вони мають приблизно однакову загальну масу – 140 та 142 кг відповідно.

В 2016 році ряд електрокартингів поповнила компанія Bosch. Компанією було створено невеличкий карт, який мав на той час достатньо високу потужність. Його зображено на рисунку 8.

Електрокарт був побудований спільно з компанією FIA та Німецькою асоціацією автоспорту (DMSB). Метою цього рішення було дати поштовх розвитку електроспорту. Виробниками було встановлено, що ця модель може стати основоположником електрифікації автоспорту.

Компанія Bosch використовує для свого прототипу два власні електродвигуни та інтегрований акумулятор. Привід здійснюється саме від них. 48-вольтова літій-іонна акумуляторна батарея може бути доповнена системою рекуперації енергії.

Електрокартинг Bosch і електрокартинг високої потужності мають однаковий привід, що йде на задні колеса. Двигуни першого, потужністю 20 кВт, здатні розвивати максимальну швидкість в 130 км/год, а швидкість від 0 до 100 набирають менше ніж за 5 секунд. В той час електрокартинг високої потужності набирає максимальну швидкість до 180 км/год.



Рисунок 8 – Електрокарт Bosch

9. Ілюстровані матеріали

Прототип електрокартингу високої потужності на стадії виробництва зображений на рисунках 9, 10 та 11.



Рисунок 9 – Прототип електрокартингу високої потужності на стадії виробництва (вид спереду)



Рисунок 10 – Прототип електрокартингу високої потужності на стадії виробництва (вид збоку)



Рисунок 11 – Прототип електрокартингу високої потужності на стадії виробництва (вид ззаду)

Висновок

В науковій роботі було описано новий спортивний електрокартинг **BikeBox**. Зокрема, наведені такі характеристики карту, як максимальна швидкість, потужність електродвигуна та його крутний момент, ємність акумуляторної батареї та запас ходу.

Також наведені переваги над іншими електрокартами, якими стали ELECTRO ONE від BikeBox, Rotax Project E20 та Bosch від компанії з однойменною назвою. В порівнянні з ними, карт BikeBox виглядає найпотужнішим спортивним картом, адже має вищу максимальну швидкість, найбільший запас ходу та найбільшу електроємність акумулятора. Це все попри те, що він має приблизно однакову потужність, максимальний крутний момент та розгін від 0 до 100 км/год з Rotax Project E20 та Bosch.

Отже, електрокарт BikeBox є одним із найкращих не тільки в Україні, а й у Європі. Також, його існування може спонукати інші компанії до виробництва електричних картів задля розвитку електроспорту, що буде значимим кроком в електроіндустрії.

Перелік посилань

1. Переваги електрокартингу: веб-сайт. <http://atandii.stu.cn.ua/2017/05/> (дата звернення 19.01.2021).
2. Перший електрокартинг в Чернігівській області: веб-сайт. <https://bikebox.com.ua/electro-one/electro-one---jelektrokarting-dlja-ljubitelej-spotrivnoj-ezdi-i-drajva> (дата звернення 19.01.2021).
3. Rotax E20: веб-сайт. <https://www.rotax-kart.com/upload/files/5977.pdf> (дата звернення 20.01.2021).
3. Синусні BLDC-контролери: веб-сайт. <https://kellycontroller.com.ua/kls96601-8080h-24v-96v-600a-sinusoidal-bldc-motor-controller/> (дата звернення 21.01.2021).
4. BLDC-двигуни: веб-сайт. <https://xebike.com/product/bldc-dvigatel-10-kvt-48-120-volt-elektricheskij-motocikl-konversionnyj-komplekt/> (дата звернення 22.01.2021)
5. Синхронні двигуни с постійним магнітом: веб-сайт. https://epa.kpi.ua/wp-content/uploads/2019/06/Zinchenko_int.pdf (дата звернення 25.01.2021).
6. Електрокартинг Bosch: веб-сайт. https://www.motorauthority.com/news/1104137_bosch-creates-electric-go-kart (дата звернення 26.01.2021).