

# ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНА СИСТЕМА ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ НА БАЗІ ШАСІ NISSAN PATHFINDER V

Делейко Б.С., студент, Ковбаса С.М., д.т.н., доц.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра автоматизації електромеханічних систем та електроприводу

**Вступ.** Глобальний автомобільний сектор є однією з найбільших галузей у світі. Щороку виробляється 60 мільйонів автомобілів, на які припадає приблизно 50% світового споживання нафти [1]. Тому електрифікація транспортних засобів, тобто заміна двигунів внутрішнього згорання на електроприводи, є одним із шляхів подолання екологічних проблем [2].

**Мета роботи.** Розрахунок та вибір електродвигуна та джерела живлення для розробки електромеханічної системи електромобіля на базі шасі Nissan Pathfinder V.

**Матеріали і результати досліджень.** Параметри автомобіля Nissan Pathfinder V, що взято за основу електромобіля взято з каталогу [3]. Передатні числа для автоматичної 9-ти швидкісної коробки передач отримані із специфікації [4]. Максимальне навантаження  $m_{load} = 718$  кг, максимальна маса автомобіля  $m_{max} = 2676$  кг, довжина  $l = 5.022$  м, ширина  $w = 1.979$  м, висота  $h = 1.796$  м, аеродинамічний коефіцієнт  $C_D = 0.324$ , передатне число 5-ої передачі  $i_{p5} = 1$ , передатне число головної передачі  $i_{pf} = 4.33$ , розмір шин 255/50 R20.

Оскільки автомобіль використовує шини з розміром 255/50 R20, то радіус колеса  $r_{wh} = 0.382$  м [5], що використовується в подальших розрахунках.

Тягове зусилля, яке повинен забезпечувати електромобіль [6]:

$$F_{pr} = F_{fr} + F_A + F_{gr} + m_{max} \cdot \dot{v}, \quad (1)$$

де  $F_{fr}$  – сила тертя;  $F_A$  – сила аеродинамічного опору;  $F_{gr}$  – сила земного тяжіння;  $m_{max}$  – максимальна маса електромобіля;  $\dot{v}$  – прискорення (похідна від швидкості  $v$ ) електромобіля.

Сила тертя:

$$F_{fr} = m_{max} \cdot g \cdot f_r \cdot \cos \alpha = 676 \cdot 9.8 \cdot 0.01 \cdot (1 + v/160) \cdot 1 = 262.25 \cdot (1 + v/160), \quad (2)$$

де  $g$  – прискорення вільного падіння;  $f_r = 0.01 \cdot (1 + v/160)$  – коефіцієнт тертя;  $\alpha$  – кут нахилу поверхні, який при обрахунках буде нульовим, бо приймається, що транспорт їде по горизонтальній поверхні.

Сила аеродинамічного опору:

$$F_A = \rho A_f C_D (v - v_w)^2 / 2 = 1.293 \cdot 1.979 \cdot 1.796 \cdot 0.324 \cdot v^2 / 2 = 2.3 \cdot v^2, \quad (3)$$

де  $\rho$  – густина повітря, що дорівнює  $1.293 \text{ кг/м}^3$ ;  $A_f = w \cdot h = 1.979 \cdot 1.796 = 3.554 \text{ м}^2$  – площа фронтального перерізу;  $C_D$  – аеродинамічний коефіцієнт;  $v$  – швидкість електромобіля;  $v_w$  – швидкість вітру, яка приймається нульовою.

Сила тяжіння  $F_{gr} = 0$ , оскільки  $\alpha = 0$ .

Після підстановки, (2) та (3) в (1):

$$F_{pr} = 262.25 \cdot (1 + v/160) + 2.3 \cdot v^2 + 2676 \cdot \dot{v}. \quad (4)$$

У формулі тягового зусилля (4) значення швидкості та прискорення є невідомими, тому створюється графік швидкості (рис. 1) електромобіля, що демонструє зміну швидкості протягом 1200 секунд.



Рисунок 1 – Графік залежності лінійної швидкості від часу (driving cycle)

Взявши інтеграл від швидкості на даному проміжку часу, отримується, що подоланий шлях  $S_1 = 14 \text{ км}$ .

Потужність джерела живлення:

$$P_{BAT} = F_{pr}(t) \cdot v(t) / (\eta_r \cdot \eta_{mot} \cdot \eta_{inv}),$$

де  $\eta_r = 0.9$  – ККД редуктора;  $\eta_{mot} = 0.95$  – ККД двигуна;  $\eta_{inv} = 0.97$  – ККД інвертора.

Взявши інтеграл від потужності джерела живлення на даному проміжку часу, отримується, що кількість витраченої енергії  $W_1 = 11.25 \text{ МДж}$ .

Оскільки планується забезпечувати запас ходу  $S_{full} = 280 \text{ км}$ , а за проміжок часу 1200 секунд електромобіль проїжджає  $S_1 = 14 \text{ км}$ , то для масштабування використовується коефіцієнт:

$$N_{scale} = S_{full} / S_1 = 280 / 14 = 20.$$

Сумарна кількість енергії без врахування рекуперації, що необхідна для забезпечення заданого запасу ходу:

$$W_{\Sigma\text{BAT}} = W_1 \cdot N_{\text{scale}} = 11.25 \cdot 20 = 225 \text{ МДж.}$$

Момент навантаження двигуна:

$$M(t) = F_{\text{pr}}(t) \cdot r_{\text{wh}} / i_p,$$

де  $i_p = i_{p5} \cdot i_{pf} = 1 \cdot 4.33 = 4.33$ .

З графіку моменту (рис. 2) видно, що максимальне значення моменту  $M_{\text{max}} = 380 \text{ Н} \cdot \text{м}$ .

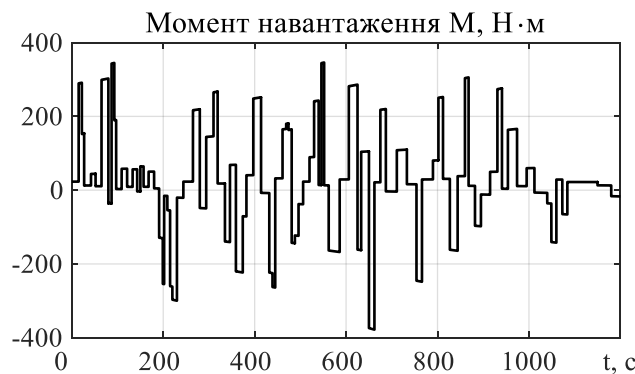


Рисунок 2 – Графік залежності моменту навантаження від часу

Еквівалентний момент обраховується за формулою:

$$M_e = \sqrt{\frac{1}{t_c} \int_0^{t_c} M^2(t) dt} = 133.2 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

де  $t_c = 1200 \text{ с}$  – час циклу;  $M^2(t)$  – квадратична залежність моменту від час.

З врахуванням того, що номінальний момент двигуна повинен бути більшим за еквівалентний момент, а піковий двигуна повинен бути більшим за обрахований максимальний момент, то обирається електродвигун EMRAX 268 на середню напругу з повітряним охолодженням [7]. Розрахункова номінальна напруга  $U_n = 680 \text{ В}$ , номінальний момент  $M_{\text{cont}} = 200 \text{ Н} \cdot \text{м}$ , піковий момент  $M_{\text{peak}} = 500 \text{ Н} \cdot \text{м}$

Відповідно до обраного електродвигуна батарея має забезпечувати напругу  $U_{\text{BAT}} = U_n = 680 \text{ В}$ .

Енергія батареї:

$$W_{\Sigma\text{BAT}} = U_{\text{BAT}} \cdot I_{\text{BAT}} \cdot 3600. \quad (5)$$

З формули (5) струм, що має забезпечувати батарея:

$$I_{\text{BAT}} = W_{\Sigma\text{BAT}} / (U_{\text{BAT}} \cdot 3600) = 225 \cdot 10^6 / (680 \cdot 3600) \approx 92 \text{ A}. \quad (6)$$

В якості одиничного елемента береться акумуляторна батарея 3.7V 32Ah NCM Cell [8]. Номінальна напруга  $U_{\text{EL}} = 3.7 \text{ В}$ , номінальна ємність  $I_{\text{EL}} = 32 \text{ А} \cdot \text{г}$ , кількість циклів перезаряду 2000, маса елемента  $m_{\text{EL}} = 0.57 \text{ кг}$ .

Кількість послідовно з'єднаних елементів для забезпечення напруги 680 В:

$$N_{\text{serial}} = U_{\text{BAT}} / U_{\text{EL}} = 680 / 3.7 = 184.$$

Кількість паралельних гілок для забезпечення (6):

$$N_{\text{parallel}} = I_{\text{BAT}} / I_{\text{EL}} = 92 / 32 \approx 3.$$

Енергія, яку може забезпечити дана батарея:

$$W_{\Sigma\text{AKB}} = U_{\text{BAT}} \cdot I_{\text{EL}} \cdot N_{\text{parallel}} \cdot 3600 = 680 \cdot 32 \cdot 3 \cdot 3600 = 235 \text{ МДж}.$$

Сумарна маса батареї:

$$m_{\text{BAT}} = m_{\text{EL}} \cdot N_{\text{serial}} \cdot N_{\text{parallel}} = 0.57 \cdot 3 \cdot 184 = 315 \text{ кг}. \quad (7)$$

Для порівняння можливостей акумуляторів та суперконденсаторів здійснюється розрахунок кількості суперконденсаторних елементів на таку саму масу, що займає блок акумуляторів. Обирається елемент KYOCERA AVX SCCZ1EB308SCB [9]. Ємність  $C_{\text{sc serial}} = 2500 \text{ Ф}$ , номінальна напруга  $U_{\text{sc}} = 2.7 \text{ В}$ , маса  $m_{\text{sc}} = 0.5 \text{ кг}$ .

Враховуючи (7) кількість суперконденсаторів:

$$N_{\text{sc}} = m_{\text{BAT}} / m_{\text{sc}} = 283 / 0.5 = 566.$$

Сумарна ємність батареї суперконденсаторів:

$$C_{\text{BATsc}} = C_{\text{sc}} \cdot N_{\text{sc parallel}} / N_{\text{sc serial}} = 2500 \cdot 2 / 272 = 18.4 \text{ Ф}.$$

де  $N_{\text{sc serial}} = U_{\text{BAT}} / U_{\text{sc}} = 272$  – кількість послідовно з'єднаних елементів для отримання напруги 680В;  $N_{\text{sc parallel}} = N_{\text{sc}} / N_{\text{sc serial}} = 2$  – кількість паралельних гілок.

Приймається, що  $U_{\text{BATmax}} = 690 \text{ В}$ ,  $U_{\text{BATmin}} = 345 \text{ В}$ . Енергія, яку забезпечує батарея суперконденсаторів:

$$W_{\text{BATsc}} = C_{\text{BATsc}} \cdot U_{\text{BATmax}}^2 / 2 - C_{\text{BATsc}} \cdot U_{\text{BATmin}}^2 / 2 = 18.4 \cdot (690^2 - 345^2) / 2 = 3.3 \text{ МДж.}$$

Пробіг, який в даному випадку забезпечується:

$$S_{\text{BATsc}} = S_{\text{BAT}} \cdot W_{\text{BATsc}} / W_{\Sigma\text{BAT}} = 280 \cdot 3.3 / 235 = 3.9 \text{ км.}$$

**Висновки.** На основі виконаних розрахунків було обрано компоненти електромеханічної системи електромобіля. Електродвигун EMRAX 268 на середню напругу з повітряним охолодженням розрахований на номінальний момент 200 Н·м та максимальний момент 500 Н·м. Акумуляторна батарея, вагою 315 кг забезпечує пробіг 280 км. Батарея суперконденсаторів, розрахована на таку саму вагу, що й акумуляторна, забезпечує пробіг 3.9 км, що свідчить про те, що на разі суперконденсатори не можуть слугувати, як самостійне джерело живлення в електромобілях, але потенційно можуть бути поєднані з акумуляторами і, за рахунок швидкого перезаряду, використовуватись в рекуперативних режимах. Виконані розрахунки можуть слугувати основою для електрифікації автомобіля Nissan Pathfinder V.

#### Перелік посилань

1. The Current State of the Global Automotive Manufacturing Market. *AZoM.com*. URL: <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=22236> (date of access: 02.10.2023).
2. What is Vehicle Electrification? – How it Works & Benefits | Synopsys. *Synopsys / EDA Tools, Semiconductor IP and Application Security Solutions*. URL: <https://www.synopsys.com/automotive/what-is-vehicle-electrification.html> (date of access: 02.10.2023).
3. 2021 Nissan Pathfinder V 3.5 V6 (284 Hp) Automatic | Technical specs, data, fuel consumption, Dimensions. *Auto-Data.net*. URL: <https://www.auto-data.net/en/nissan-pathfinder-v-3.5-v6-284hp-automatic-44024> (date of access: 02.10.2023).
4. 2024 Nissan Pathfinder Review, Pricing, and Specs. *Car and Driver*. URL: [https://www.caranddriver.com/nissan/pathfinder/specs/2022/nissan\\_pathfinder\\_nissan-pathfinder\\_2022/418711](https://www.caranddriver.com/nissan/pathfinder/specs/2022/nissan_pathfinder_nissan-pathfinder_2022/418711) (date of access: 02.10.2023).
5. 255-50R20 - Tire and Wheel Plus Sizing | Tire Size Calculator. *1010Tires.com*. URL: <https://www.1010tires.com/Tools/Tire-Size-Calculator/255-50R20> (date of access: 02.10.2023).
6. Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles, Third Edition / M. Ehsani et al. Taylor & Francis Group, 2018. 546 p.
7. 268 (210kW | 500Nm) - EMRAX. *EMRAX*. URL: <https://emrax.com/e-motors/emrax-268/> (date of access: 02.10.2023).
8. High Density Rechargeable Battery 3.7V 32ah for Truck. *Made-in-China.com*. URL: <https://soundonnewenergy.en.made-in-china.com/product/FodaXuwbPpGZ/China-High-Density-Rechargeable-Battery-3-7V-32ah-for-Truck.html> (date of access: 02.10.2023).
9. Supercapacitor SCCZ1EB308SCB URL: <https://eu.mouser.com/ProductDetail/KYOCERA-AVX/SCCZ1EB308SCB?qs=qSfuJ%2Bfl/d5jBP4N6%2BRGIA==> (date of access: 02.10.2023).