

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВЕНТИЛЬНОГО ДВИГУНА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ З ЯВНОПОЛЮСНИМ СТАТОРОМ І ПОСТІЙНИМИ МАГНІТАМИ НА РОТОРІ

**Вступ.** З розвитком науки водночас розвиваються і вдосконалюються вже наявні та створюються нові електротехнічні пристрої та прилади. Вентильний двигун постійного струму (ВДПС) належить до одного з таких пристроїв. Стрімкий розвиток силової напівпровідникової техніки, вдосконалення технології виробництва та здешевлення силових напівпровідникових модулів, а також поява високоенергетичних постійних магнітів роблять ВДПС конкурентноспроможними порівняно з двигунами інших типів.

Враховуючи низку істотних переваг, які властиві ВДПС, можна стверджувати, що в майбутньому вони матимуть широке застосування. До таких переваг зокрема належать: висока надійність і довготривалий термін служби завдяки відсутності рухомих контактів; широкий діапазон регулювання за швидкістю (1:10000) та висока (5-ти кратна і більше) перевантажувальна здатність за моментом; простіша порівняно з частотно-керованим асинхронним електроприводом система керування; низькі масогабаритні показники порівняно з двигунами інших типів. Завдяки простоті силової схеми комутатора та простоті його системи керування, ВДПС може бути легко інтегрований як готовий електропривод в різноманітні електромеханічні системи без істотних додаткових затрат.

На рис.1 наведено принципову електричну схему трисекційного вентильного двигуна постійного струму з явнополюсним статором і постійними магнітами на роторі, а на рис.2 – конструктивну схему його електромеханічного перетворювача [1].

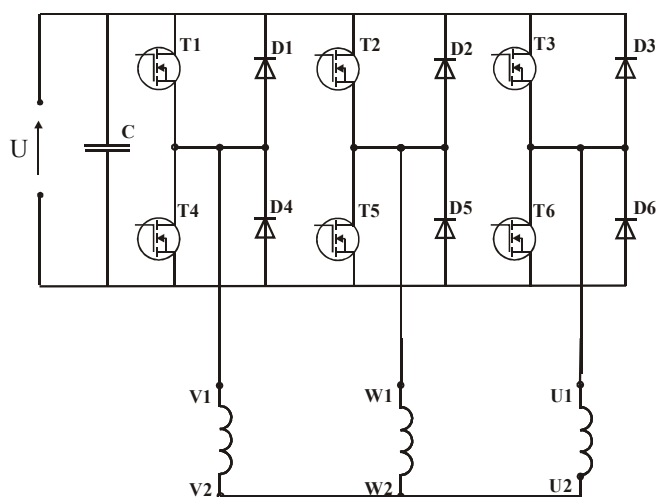


Рис. 1. Принципова схема силового електричного кола ВДПС

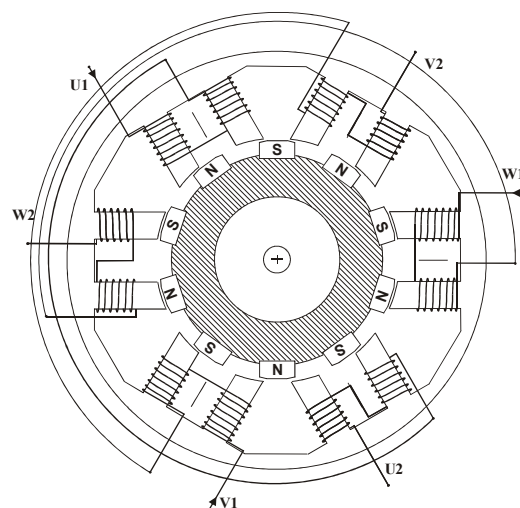


Рис. 2. Конструктивна схема електромеханічного перетворювача з явнополюсним статором і постійними магнітами на роторі ВДПС

Характерна особливість конструкції ВДПС полягає у наявності: постійних магнітів на роторі електромеханічного перетворювача [2]; зосереджених обмоток секцій статора, а також силових напівпровідникових ключів, керуючи якими згідно з кутом положення ротора стосовно статора, формуються напруги секцій ВДПС.

**Постановка завдання дослідження.** Завдання полягає у розробленні математичної моделі вентильного двигуна постійного струму з явнополюсним статором і постійними магнітами на роторі на підставі запропонованих у [3] вихідних допущень.

**Матеріали дослідження.** Математичною моделлю ВДПС слугують: система диференціальних рівнянь електричної рівноваги (1), диференціальні рівняння механічної рівноваги (2) та система логічних рівнянь (3), яка описує роботу системи керування комутатором.

У системі диференціальних рівнянь електричної рівноваги прийняті такі позначення:  $K_T$ ,  $K_D$  – коефіцієнти, які описують стан транзистора і діода комутатора ВДПС. Для стану провідності значення цих коефіцієнтів - 1, а для запертого - 0.  $U_{CT_{k_j}}$ ,  $U_{CD_{k_j}}$  – спад напруги на  $k_j$  секції у випадку, коли її струм протікає через транзистор або діод відповідно;  $m$  – кількість секцій ВДПС.

$$\left\{ \begin{aligned} \sum_{j=1}^3 (KT_j + KT_{j+m}) \cdot U_{CT_{k_j}} &= U; \\ \sum_{j=1}^m \left( KT_{m+k_{j+1}} \cdot KD_{m+k_{j+2}} \cdot (U_{CT_{k_{j+1}}} + U_{CD_{k_{j+2}}}) + KT_{m+k_{j+2}} \cdot KD_{k_{j+1}} \cdot (U_{CT_{k_{j+2}}} - U_{CD_{k_{j+1}}}) \right) &= 0; \\ \sum_{j=1}^m \left( \frac{di_j}{dt} \cdot KT_j \right) &= \sum_{j=1}^m \left( \frac{di_j}{dt} \cdot (KT_{k_{j+1}} \cdot (KT_{j+m} + KD_{j+m}) + KT_{k_{j+2}} \cdot (KT_{j+m} - KD_j)) \right). \end{aligned} \right. \quad (1)$$

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{d\omega}{dt} &= (M_e - M_c) \cdot \frac{1}{J}; \\ \frac{d\theta}{dt} &= p \cdot \omega. \end{aligned} \right. \quad (2)$$

$$\left\{ \begin{aligned} KT_i &= \begin{cases} 1, & \text{якщо } \beta < \theta_e + \frac{2\pi}{m}(m-1) \leq \beta + \gamma; \\ 0, & \text{інакше} \end{cases} \\ KT_{i+m} &= \begin{cases} 1, & \text{якщо } \beta < \theta_e + \frac{2\pi}{m}(m-1) + \pi \leq \beta + \gamma; \\ 0, & \text{інакше} \end{cases} \end{aligned} \right. \quad (3)$$

$$\text{де } U_{CT_{k_j}} = (U_{KE.0} + i_{k_j} \cdot R_{KE.НАС}) + i_{k_j} \cdot R + \frac{d\psi_{k_j}(\theta_{e_{k_j}}, i_{k_j})}{dt}, \quad (4)$$

$$U_{CD_{k_j}} = \left( \frac{\ln \frac{i_{k_j} + I_0}{I_0}}{b} \right) + i_{k_j} \cdot R + \frac{d\psi_{k_j}(\theta_{e_{k_j}}, i_{k_j})}{dt}, \quad (5)$$

$$M_e = \sum_{j=1}^m \left( 4 \cdot p \left( \frac{w_z \Phi_{\max} \lambda_{\delta}}{\lambda_m + \lambda_{\delta} + \lambda_{\sigma}} I_{k_j} + \frac{w_z^2 \lambda_{\delta} (\lambda_m + \lambda_{\sigma})}{\lambda_m + \lambda_{\delta} + \lambda_{\sigma}} I_{k_j}^2 \right) \sin(\theta_{e_{k_j}}) \right). \quad (6)$$

За допомогою наведеної математичної моделі для дослідного зразка ВДПС було проведено симулювання розгону. Ключові параметри для розрахунку є такі: напруга живлення двигуна  $U_{жс} = 110\text{В}$ ; кількість пар полюсів ротора  $p=5$ ; число секцій  $m=3$ ; матеріал постійних магнітів полюсів ротора – неодим-залізо-бор.

$\omega, M_e, M_c$ , рад./с, Н·м

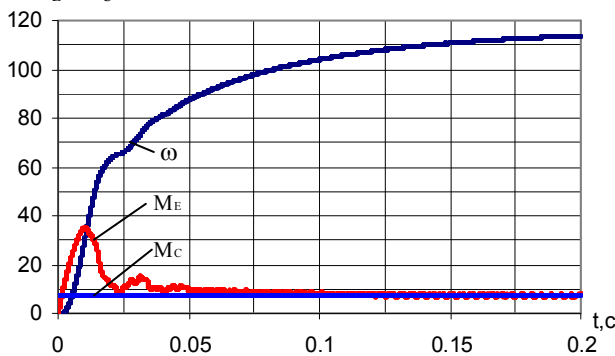


Рис. 3. Розрахункові криві швидкості, електромагнітного моменту ВДПС

#### Література.

1. Ткачук В.І. Електромеханотроніка : Підручник. – Львів: Видавництво Національного університету “Львівська політехніка”, 2006.– 440 с.
2. Хитерер М.Я., Овчинников І.Е. Синхронные электрические машины возвратно-поступательного движения. – СПб.: КОРОНА принт, 2004.–368.
3. Макаруч О.В., Ткачук В.І., Василів Р.К. Магніто-механічна характеристика явнополюсного вентильного двигуна з постійними магнітами // Вісн. Кременчуцького державного політехнічного університету. № 3/2006 (38), ч.2.2006. С.29-33.