

## КОМУТАЦІЯ В ДПС ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ҐРУНТООБРОБНОГО МОТОБЛОКУ

Ковальов О. В.<sup>1</sup>, Хандола Ю. М.<sup>2</sup><sup>1</sup> Таврійський державний агротехнологічний університет,<sup>2</sup> Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка

Проведено оцінку основних показників, що визначають потенційно-комутаційні умови на колекторі тягових двигунів постійного струму та визначені гранично допустимі значення цих показників

**Постановка проблеми.** Тягові електродвигуни постійного струму (ДПС) в наш час знайшли широке застосування в приводі електромобілів, мотоблоків та інших електрифікованих транспортних засобах. Однак наявність в двигуні постійного струму щітково-колекторного вузла знижує надійність їх роботи та обумовлює підвищення експлуатаційних витрат. З цих причин для тягових ДПС з широким діапазоном регулювання швидкості проблемою є необхідність забезпечення комутації без іскріння та запобігання кругового вогню на колекторі в реальних умовах експлуатації двигуна. Тому розглядання найбільш напружених режимів роботи тягових ДПС по потенційно-комутаційним умовам є актуальною та практично корисною задачею.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питанням теорії та практики комутації електричних машин постійного струму присвячено велику кількість книг і публікацій в періодичних виданнях [1,2,3]. Проблемі комутації багато уваги приділяється на стадії проектування та виготовлення електричних машин постійного струму, в тому числі і тягових ДПС [4]. Таким чином, проблема комутації тягових ДПС фундаментально вирішується лише на стадії проектування та виготовлення машин. Але питання забезпечення нормальних потенційно-комутуючих умов на колекторі ДПС в регульованому електроприводі в найбільш напружених режимах умов, наприклад, при максимальній швидкості  $\omega_{max}$ , не знайшли відображення в технічній літературі за останній час.

**Мета статті.** Проведення аналізу з кількісною оцінкою найбільш напружених по потенційно-комутаційним умовам режимів роботи тягового ДПС в приводі мотоблока.

**Основні матеріали дослідження.** Потенційно-комутаційні умови на колекторі тягового ДПС можуть бути визначені наступними показниками: середнім значенням напруги між суміжними колекторними пластинами,  $U_{сеп.}$ ; коефіцієнтом викривлення магнітного поля в зазорі під дією поперечної реакції якоря  $k_f = B_{\delta max} / B_{\delta 0}$ , де  $B_{\delta max}$  та  $B_{\delta 0}$  – значення магнітної індукції у зазорі в режимі навантаження та на холостому ході; середнім значенням реактивної ЕРС в секціях обмотки якоря при комутації,  $e_{p.сеп.}$ .

Найбільш напруженими за потенційно-комутаційними умовами є режим роботи ДПС з реалізацією номінальної потужності при пуску та максимальній швидкості  $\omega_{max}$ , коли реактивна ЕРС і максимальна напруга між колекторними пластинами досягають своїх найбільших значень  $e_{p.max}$  та  $U_{к. max}$ . Розглянемо це питання більш детально на прикладі ДПС

в приводі мотоблока [3]. Потенційні умови на колекторі визначаються середнім значенням напруги між суміжними колекторними пластинами  $U_{к.сеп.}$  та коефіцієнтом викривлення поля реакцією якоря  $k_f$ . Небезпека виникнення кругового вогню на колекторі визначається максимальною напругою між колекторними пластинами  $U_{к. max}$ . Згідно з [1], маємо:

$$U_{к. max} = 2B_{\delta max} \cdot l_a \cdot V_a \cdot W_c (p/a); \quad (1)$$

або

$$U_{к. max} = k_f \cdot U_{к.сеп.} / \alpha, \quad (2)$$

де  $B_{\delta max}$  – максимальна індукція в зазорі;  
 $l_a$  – довжина провідника обмотки;  
 $V_a$  – швидкість точки поверхні якоря;  
 $W_c$  – число витків в секції;  
 $P$  – число пар полюсів;  
 $a$  – число паралельних гілок обмотки якоря;  
 $\alpha$  – коефіцієнт полюсного перекриття.

При цьому

$$U_{к.сеп.} = 2p \cdot U / K; \quad (3)$$

$$k_f = \frac{B_{\delta max}}{B_{\delta 0}}, \quad (4)$$

де  $U$  – напруга, що підведена до обмотки якоря;  
 $K$  – число колекторних пластин;  
 $B_{\delta 0}$  – магнітна індукція в зазорі на холостому ході.

Для машини з рівномірним зазором без компенсаційної обмотки:

$$k_f = 1 + 0,5b_n \cdot \frac{A}{F_{z.n.}} = 1 + \frac{1}{k_c}, \quad (5)$$

де  $A$  – лінійне навантаження;  
 $F_{z.n.}$  – магніторухійна сила головного полюса;  
 $b_n$  – довжина полюсної дуги;  
 $k_c$  – коефіцієнт стійкості магнітного поля.

$$k_c = \frac{F_{z.n.}}{0,5b_n \cdot A} = \frac{F_{z.n.}}{F_{p.a.}}. \quad (6)$$

Згідно з (2) та (5), для запобігання кругового вогню в машині без компенсаційної обмотки необхідно щоб в номінальному режимі коефіцієнт  $k_c$  був достатнім по величині. Так як МРС головного полюса  $F_{z.n.}$  пропорційна струму збудження  $I_{зб.}$ , а МРС реакції

якоря  $F_{p.a.}$  – струму якоря  $I_a$ , то можна записати

$$k_c = C_1 \cdot \frac{I_{зб.}}{I_a} \quad (7)$$

При відсутності насичення магнітної системи, при одному і тому ж струмі якоря

$$\frac{n_{max}}{n_{ном.}} = \frac{\Phi_{ном.}}{\Phi_{min}} = \frac{I_{зб.ном.}}{I_{зб.min}} = k_U, \quad (8)$$

звідки

$$I_{зб.min} = \frac{I_{зб.ном.}}{k_U}, \quad (9)$$

і, отже,

$$k_{c.min} = \frac{k_{c.ном.}}{k_U}. \quad (10)$$

Якщо в номінальному режимі магнітна система насичена, то

$$k_{c.min} = \frac{k_{c.ном.}}{R_\mu \cdot k_U}. \quad (11)$$

Отже, при переході від номінального режиму, до режиму максимальної швидкості, значення  $U_{k.max}$  збільшується, що може викликати виникнення кругового вогню. При відомих параметрах ДПС та  $U_{k.max}$ , можна визначити максимальний коефіцієнт викривлення поля

$$k_f = \frac{U_{k.max}}{U_{k.cер.}} \cdot \alpha, \quad (12)$$

а потім і мінімальний коефіцієнт стійкості по (5)

$$k_{c.min} = \frac{1}{k_f - 1}. \quad (13)$$

Наявність компенсаційної обмотки в ДПС знімає обмеження по потенційним умовам. Таким чином, обмеження по потенційним умовам або максимальній напрузі між суміжними колекторними пластинами зводиться до зберігання мінімально допустимого коефіцієнту стійкості

$$k_{c.min} = \frac{F_{зб.}}{F_{p.a.}} = \frac{I_{зб.} \cdot W_{зб.}}{0,5b_n \cdot A}; \quad (14)$$

$$k_{c.min} = C(I_{зб.} / I_a) = const. \quad (15)$$

В ДПС послідовного збудження таке обмеження буде виконане автоматично, якщо зафіксувати максимально допустиму ступень послаблення струму збудження  $\beta_{n.n.} = 0,4$ , тобто використати мінімальний опір, що шунтує обмотку збудження, при якому

$$\beta_{n.n.min} = I_{зб.} / I_a = 0,4. \quad (16)$$

На основі розрахункових та дослідних даних, [5] обмеження по потенційним умовам на колекторі найбільш частіше використаних тягових ДПС, визнача-

ються наступними показниками:

- $U_{к.доп.} \leq 25 \dots 28$  В для ДПС великої потужності;
- $U_{к.доп.} \leq 30 \dots 35$  В для ДПС середньої потужності;
- $U_{к.доп.} \leq 40 \dots 45$  В для ДПС малої потужності;
- $\beta_{п.п.} \geq 0,4$ ;  $k_{п.доп.} \leq n_{max}/n_{ном.}$  – задано в каталогах ДПС.

Обмеження по комутації визначаються електромагнітними причинами іскріння щіток, що пов'язано з реактивною ЕРС в комутуючих секціях обмотки якоря. Середнє значення реактивної ЕРС згідно з [5] можна визначити

$$e_{p.cер.} = 2A \cdot I_a \cdot V_a \cdot W_c \cdot \Lambda_n, \quad (17)$$

де  $\Lambda_n$  – приведена питома магнітна провідність пазового розсіювання.

Питома потужність електричних розрядів під щіткою, що характеризує ступень іскріння щіток на колекторі згідно [5], дорівнює

$$P_{num.} = E_{p.cер.} \cdot \frac{F_{c.n.}}{l_{щ.}} \cdot \Delta^2 = K_{щ.} \cdot \Delta^2, \quad (18)$$

де  $l_{щ.}$  – довжина щітки;  
 $\Delta$  – комутаційне порушення;  
 $K_{щ.}$  – коефіцієнт обмеження інтенсивності іскріння щіток.

При цьому

$$K_{щ.} = l_{p.cер.} \cdot \frac{F_{c.n.}}{l_{щ.}} = 2A \cdot V_a \cdot W_c \cdot \Lambda_n \cdot \frac{F_{c.n.}}{l_{щ.}}; \quad (19)$$

$$\Delta = 1 - \frac{e_{к.cер.}}{e_{p.cер.}}, \quad (20)$$

де  $e_{к.cер.}$  – середнє значення комутуючої ЕРС.

Слід нагадати, що умовою комутації без іскріння машин постійного струму, є

$$e_{p.cер.} + e_{к.cер.} = 0. \quad (21)$$

Зв'язок між питомою потужністю ( $P_{num.}$ ) та інтенсивністю іскріння в балах наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Питома потужність ( $P_{num.}$ ) та інтенсивність іскріння під щітками

Ступень іскріння	1	$1 \frac{1}{4}$	$1 \frac{1}{2}$	2	3
$P_{num.},$ Вт/см	0...0,25	0,25...1,0	1,0...2,0	2,0...5,0	>5,0

Можна зробити висновок, що небезпечного іскріння під щітками не виникає, якщо  $P_{num.} \leq 1$  Вт/см.

Для ДПС з широким регулюванням швидкості, оцінка якості комутації при високій частоті обертання проводиться за тривалістю комутаційного порушення за рівнянням

$$\Delta_{\max} = \frac{1}{\sqrt{K_{\text{щ}}}} \left( 1 + \frac{e_{p.\text{сеп.}}}{e_{p.\text{сеп.}} - 2\Delta U} \right). \quad (22)$$

Значення  $\Delta_{\max}$  для надійної роботи машин по комутаційній умові не повинно бути менше 10%.

Реактивна ЕРС  $e_{p.\text{сеп.}}$  збільшується прямо пропорційно швидкості  $V_a$ , тому зі збільшенням швидкості, зменшується значення виразу в дужках в формулі (21), найбільше значення якого дорівнює 2, а також збільшується коефіцієнт  $K_{\text{щ}}$ . Все це приводить до зменшення допустимого значення  $\Delta_{\max}$  та збільшення вірогідності іскріння щіток. Позначивши в (22) вираз в дужках, як

$$2\nu = \left( 1 + \frac{e_{p.\text{сеп.}}}{e_{p.\text{сеп.}} - 2\Delta U} \right), \quad (23)$$

Завдаючи в режимі максимальної швидкості  $\Delta_{\max} = 10\%$ , по (23) можна визначити максимальне значення коефіцієнта  $K_{\text{щ}}$ .

$$K_{\text{щ}} \leq (20\nu)^2. \quad (24)$$

Залежність  $\nu = f(e_p)$  наведено на рис. 1, з якої слідує, що при великих значеннях реактивної ЕРС  $e_p = 5 \dots 8 \text{ В}$  та максимальній швидкості  $\omega_{\max}$  ( $V_a$ ), величина  $\nu = 1,5 \dots 1,25$ . Тобто значення коефіцієнта  $K_{\text{щ},\nu} \leq 400(1,5 \dots 1,25)^2 = 600 \dots 900$ .

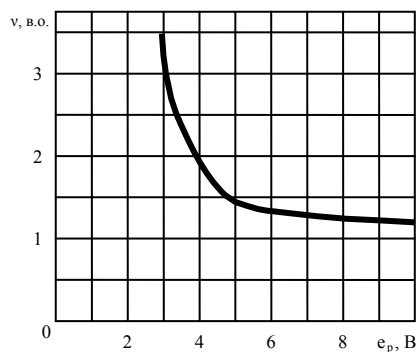


Рисунок 1 – Залежність  $\nu = f(e_p)$

В номінальному режимі роботи, який приймається за розрахунковий, значення

$$K_{\text{щ,ном.}} = \frac{K_{\text{щ},\nu}}{K_v} = \frac{600 \dots 900}{K_v}, \quad (25)$$

яке відповідає зменшенню значення реактивної ЕРС  $e_{p.\text{сеп.}}$ . Так як коефіцієнт  $K_{\text{щ}}$  пропорційний струму та швидкості якоря, маємо:

$$K_{\text{щ}} = C_1 \cdot I_a^2 \cdot V_a = C_2 \cdot I_a^2 \cdot n. \quad (26)$$

Таким чином, обмеження по комутації визначаються наступними гранично допустимими показни-

ками є:

$$e_{p.\text{сеп.}} \leq 7,5 \dots 8,5 \text{ В}; P_{\text{ном.}} \leq 1 \text{ Вт / см}; K_{\text{щ}} = 600 \dots 900;$$

$$V_{a.\text{доп.}} \leq 65 \dots 70 \text{ м / с}; V_{k.\text{доп.}} \leq 50 \dots 55 \text{ м / с}.$$

**Висновки.** Оцінка основних показників, що визначають потенційно-комутаційні умови (ПКУ) на колекторі тягових ДПС проводилася на основі характерних режимів його роботи.

В результаті були визначені гранично допустимі значення основних показників з урахуванням рекомендацій технічної літератури, що забезпечують нормальні ПКУ при роботі найбільш розповсюджених тягових електродвигунів постійного струму при широкому діапазоні регулювання кутової швидкості.

#### Список використаних джерел

1. Вегнер О. Г. Теория и практика коммутации машин постоянного тока / О. Г. Вегнер. – М.: Энергия, 1971. – 272 с.
2. Курбасов А. С. Повышение работоспособности тяговых электродвигателей / А. С. Курбасов. – М.: Транспорт, 1977. – 223 с.
3. Ковальов О. В. Тягові характеристики та параметри керування мотоблоку з електроприводом постійного струму / О. В. Ковальов, Г. Н. Назар'ян. // Вісник ХНТУСГ імені Петра Василенка "Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України" – Харків: ХНТУСГ, 2008. – Вип.73. – Т.1. – 162 с.
4. И. П. Копылов. Проектирование электрических машин / Под редакцией И. П. Копылова. – М.: Энергия, 1980. – 496 с.
5. Назар'ян Г. Н. Оцінка потенційно-комутаційних умов в тяговому двигуні постійного струму мотоблока / Г. Н. Назар'ян, О. В. Ковальов // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету – Мелітополь: ТДАТУ, 2008. – Вип. 8. – Т.10. – С. 115-123.

#### Аннотация

#### КОММУТАЦИЯ В ДПТ ПРИВОДА ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО МОТОБЛОКА

Ковалев А. В., Хандола Ю. Н.

*Проведена оцінка основних показателів характеризуючих потенціально-комутаційні умови на колекторі тягових двигателів постійного струму та визначені гранично допустимі значення цих показателів.*

#### Abstract

#### SWITCHING IN THE DC-MOTOR DRIVE TILLERS OF THE SOIL-CULTIVATING

O. Kovalyov, Yu. Handola

*The estimation of the main indicators characterizing potentially switching conditions on the collector traction DC-motors and prescribes maximum permissible values of these indicators.*