

## ВИЗНАЧЕННЯ ЯКОСТІ КОМУТАЦІЇ ТЯГОВИХ ДВИГУНІВ

У статті показано вплив зміни повітряних зазорів під додатковими полюсами на положення середньої лінії зони безіскрової роботи. Запропоновано спосіб прогнозування положення середньої лінії зони безіскрової роботи залежно від відхилень геометричних параметрів магнітного кола додаткових полюсів.

В статье показано влияние изменения воздушных зазоров под дополнительными полюсами на положение средней линии зоны безыскровой работы. Предложен способ прогнозирования положения средней линии зоны безыскровой работы в зависимости от отклонений геометрических параметров магнитной цепи добавочных полюсов.

Influence of the change air clearance under additional pole on position of the centerline of the area of without sparks work are shown in article. The way of the forecasting of the position to centerline of the zone безіскрової роботи depending on deflections geometric parameter magnetic chain additional pole are offered.

При проведенні кваліфікаційних і періодичних випробувань тягових електричних машин у них визначають зону найкращої комутації шляхом зміни струму в обмотці додаткових полюсів. Ця зона дозволяє оцінити комутаційні можливості машини та настроїти додаткові полюси (ДП), змінюючи або число витків їхньої обмотки, або значення повітряних зазорів [1]. Умовою називати «першим» повітряний зазор між наконечником додаткового полюса і якорем, а «другим» – діаманітну прокладку між сердечником додаткового полюса та остовом машини. При таких змінах параметрів додаткових полюсів змінюється індукція  $B_k$  в зоні комутації, комутаційна ЕРС  $e_k$ , що дозволяє максимально наблизитися до умов безіскрової комутації, коли комутаційна ЕРС дорівнює і протилежно спрямована стосовно реактивного ЕРС  $e_p$ , тобто виконується рівність  $e_k = e_p$ .

Таким чином, змінюючи ЕРС додаткових полюсів, визначають зону безіскрової роботи. В обидва боки за межами цієї зони безіскрова робота машини виявляється неможливою.

Положення середньої лінії, що лежить між верхньою та нижньою границями безіскрової зони, які отримані позитивним і негативним підживленнями обмотки додаткових полюсів, характеризують якість виконання цих полюсів. Ідеальним є збіг середньої лінії з віссю абсцис.

Аналізуючи виробничі відхилення від креслярських розмірів, у припустимих або неприпустимих межах, можна помітити, що вони спричиняють зміни МРС додаткових полюсів та індукції  $B_k$ . Останнє, в свою чергу, приводить до зміни положення середньої лінії безіскрової зо-

ни, сильне відхилення якої від осі абсцис збільшує комутаційну напруженість машини.

Як відомо, на процес комутації великий вплив роблять МРС якоря, компенсаційної обмотки та головних полюсів, магнітний потік яких за певних умов може проникати в зону комутації [1]. Поряд з іншими факторами, останнє можливо в результаті технологічних і виробничих відхилень у розмірах деталей при виготовленні і ремонті тягових двигунів. Тому, становить інтерес виявити вплив таких відхилень на положення середньої лінії зони безіскрової роботи.

Вплив повітряних зазорів під ДП на середню лінію безіскрової роботи машини визначається формулою, запропонованою В.Т. Касьяновим [2], по якій новий повітряний зазор може бути визначений як:

$$\delta_{\text{нов}} = \frac{\delta}{1 + \frac{\Delta I}{I_y} \cdot \frac{\Theta}{\Theta - 1}} \quad (1)$$

де  $I_y$  – струм навантаження, для якого потрібно відрегулювати додаткові полюси;  $\Delta I$  – відповідному цьому струму відхилення середньої лінії області безіскрової роботи від осі абсцис;  $\delta$  – колишнє значення повітряного зазору;  $\Theta$  – відношення МРС додаткових полюсів і компенсаційної обмотки до МРС реакції якоря, що дорівнює:

$$\Theta = \frac{2p(w_{\text{дп}} + w_{\text{ко}})I}{\frac{N}{4a} \cdot I \cdot a_d} = \frac{8pa(w_{\text{дп}} + w_{\text{ко}})}{N \cdot a_d} \quad (2)$$

У вираженні (2)  $p$  і  $a$  відповідно числа пар паралельних галузей і обмотки якоря;  $w_{\text{дп}}$  і  $w_{\text{ко}}$  – числа витків додаткових полюсів і компенсаційної обмотки;  $N$  – число провідників якоря;  $a_{\text{д}}$  – число паралельних гілок обмотки ДП. У досліджуваних нами тягових двигунах завжди  $a_{\text{д}} = 1$ .

Варто відзначити, що формула (2) дає правильний результат тільки при відносно невеликих змінах зазору, приблизно на  $\pm 20\%$ . Однак, як показали випробування деяких тягових двигунів, формула (2) має деякі розбіжності з отриманими даними.

Як відомо, повітряний зазор під ДП містить у собі «перший» повітряний зазор між ДП та якорем, і «другий» повітряний зазор між ДП і станиною. Оскільки в другому повітряному зазорі має місце велике падіння МРС, а також у ньому замикаються лінії розсіювання потоку ДП, то дію «другого» повітряного зазору можна вважати вдвічі більш сильнішою, ніж дію «першого» зазору.

Звідси

$$\delta = \delta_1 + 2 \cdot \delta_2. \quad (3)$$

В результаті наявних відхилень розмірних ділянок магнітного кола ДП, коефіцієнт, що враховує значення цих відхилень на зміну фактичного повітряного зазору під ДП

$$K_{\delta} = 1 \pm \sigma_{\delta_b}, \quad (4)$$

де  $\sigma_{\delta_b}$  – відносне відхилення повітряного зазору через виробничі допуски.

Отже, загальний вид формули, що показує залежність середньої лінії безіскрової роботи від впливу відхилень параметрів геометричних розмірів магнітного кола ДП, має вигляд:

$$\Delta I = (\delta \cdot K_{\delta} - \delta) \cdot \frac{I_{\text{я}}}{\delta \cdot K_{\delta}} \cdot \frac{\Theta - 1}{\Theta} \cdot K_I \quad (5)$$

Присутній у формулі (5) емпіричний коефіцієнт  $K_I$ , враховує вплив різних факторів на зміну значень  $\Delta I$ . Аналіз результатів експериментів тягових двигунів показав, що, з достатнім ступенем точності, можна прийняти  $K_I = 0,6$ . На підставі викладеного простежимо, яким же чином виробничі відхилення вплинуть на положення середньої лінії зони безіскрової роботи тягового двигуна НБ-514, у якого  $\delta_1 = 5,5$  мм, а  $\delta_2 = 4,5$  мм.

Відповідно до технічної документації допускаються відхилення по висоті сердечника ДП

на  $\pm 0,15$  мм. Допуск на розточення остова під полюсами становить  $\pm 0,2$  мм, допуск на діаметр якоря  $\pm 0,2$  мм. Для виконання «другого» повітряного зазору застосовуються діелектричні прокладки, які, відповідно до ГОСТ 12652-74Е [4], мають відповідні відхилення від креслярських розмірів  $\pm 0,5$  мм. З огляду на ці фактори, «перший» повітряний зазор може змінитись в межах  $5,5 \pm 1,05$  мм, а «другий» – в межах  $4,5 \pm 0,5$  мм. Однак, як показують статистичні дані, ці значення можуть змінюватись в більш широких межах.

На підставі випробувань була отримана зона безіскрової роботи тягового двигуна НБ-514, середня лінія якої при значеннях  $\delta = 14,5$  мм представлена на рис. 1.

При номінальних розмірах фактичний повітряний зазор, згідно (3), дорівнює:

$$\delta = 5,5 + 2 \cdot 4,5 = 14,5 \text{ мм.} \quad (6)$$

Згідно (3), з урахуванням відхилень, ця величина еквівалентного зазору може дорівнювати

$$\text{від } \delta' = (5,5 + 1,05) + 2 \cdot (4,5 + 0,5) = 16,55 \text{ мм}$$

$$\text{до } \delta'' = (5,5 - 1,05) + 2 \cdot (4,5 - 0,5) = 12,45 \text{ мм.}$$

Тоді, згідно (4)

$$K_{\delta'} = 1 + \sigma_{\delta_b} = 1,14,$$

$$K_{\delta''} = 1 - \sigma_{\delta_b} = 0,86.$$

Наприклад, при еквівалентному зазорі  $\delta'$  та струмі якоря 900 А відхилення середньої лінії складе:

$$\begin{aligned} \Delta I &= (14,5 \cdot 1,14 - 14,5) \frac{900}{14,5 \cdot 1,14} \times \\ &\times \frac{1,24 - 1}{1,24} \cdot 0,6 = 12,8 \text{ А} \end{aligned}$$

Дані, отримані в результаті обчислень, при різних струмах навантаження та різних відхиленнях повітряних зазорів, представлені в табл. 1.

Таким чином, в результаті виробничих відхилень, положення середньої лінії зони безіскрової роботи зміщується в ту або іншу сторону. Це свідчить про те, що додаткові полюси стають «слабкими» або «сильними» і, як наслідок, погіршуються комутаційні властивості машини, що може привести до інтенсивного іскріння. Представлені в таблиці 1 розрахункові параметри кореспондуються з експериментальними даними, наведеними в [3]. Аналогічні результати отримані при проведенні випробувань нових тягових двигунів СТК520 та СТК800, виготов-

лених «НВП СЕМЗ» (Смілянським електро-механічним заводом). За результатами таблиці 1 побудовані графіки (рис. 1), які показують положення середніх ліній при різних значеннях зазорів.

Таблиця 1

Струм навантаження, А	Зміна положення середньої лінії безіскрової зони $\Delta I$ , А	
	$\delta' = 16,55$ мм	$\delta'' = 12,45$ мм
900	13	-17,3
1000	14,45	-19,2
1200	17,34	-23
1400	20,23	-26,9
	$\delta' = 17$ мм	$\delta'' = 12$ мм
900	15,44	-21,9
1000	17,16	-24,3
1200	20,6	-29,17
1400	24	-34
	$\delta' = 17,5$ мм	$\delta'' = 11,5$ мм
900	18	-27,4
1000	20	-30,4
1200	24	-36,5
1400	28	-42,6

**Висновок.** Запропонований у даній роботі спосіб прогнозування положення середньої лінії зони безіскрової роботи, залежно від відхилень геометричних параметрів магнітного кола додаткових полюсів, знайшов своє експериментальне підтвердження і може бути рекомендований при проектуванні та випробуванні тягових двигунів електрорухомого складу.

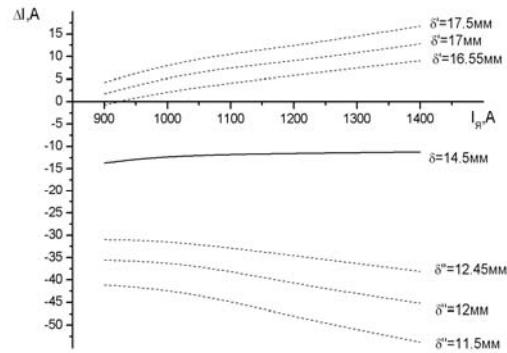


Рис. 1

### БІБЛЮГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Безрученко В. М. Тягові електричні машини електрорухомого складу. / – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2003. – 252 с.
2. Жерве Г. К. Промышленное испытание электрических машин / – М.: Энергия, 1959.– 463 с.
3. Тяговые электрические двигатели электропоездов, под ред. В. Г. Щербакова – / Новочеркаськ: «Наутилус», 1998. – 672 с.
4. ГОСТ 12652-74Е. Стеклотекстолит электротехнический листовой.

Надійшла до редакції 25.09.2007.