

В. М. БЕЗРУЧЕНКО, А. В. ШАПОВАЛОВ, Е. О. ЗАПИШНИЙ (ДІПТ)

ВПЛИВ ДОПУСКІВ НА ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ МАГНІТНОЇ ЛАНКИ ДОДАТКОВИХ ПОЛЮСІВ НА СТЕПІНЬ ІСКРІННЯ ТЯГОВИХ ДВИГУНІВ

Розглянуто який вплив роблять допуски на виготовлення магнітного ланцюга додаткових полюсів на ступінь іскріння тягових двигунів. Показано вплив зміни повітряного зазору під додатковими полюсами на визначення області безіскрової роботи та правильне налагодження цієї області.

Рассмотрено какое влияние оказывают допуски на изготовление магнитной цепи добавочных полюсов на степень искрения тяговых двигателей. Показано влияние изменения воздушного зазора под добавочными полюсами на определение области безыскровой работы и правильную настройку этой области.

What influence render the tolerances on fabrication magnetic chain additional pole on degree of the sparking the tractive engines are considered. The influence of the change the air clearance under additional pole on determination of the area of withoutsparks work and correct adjustment of this area are shown.

Під комутацією колекторної машини постійного струму мають на увазі весь комплекс явищ, що виникають у контакті щітка-колектор. Робота цього вузла неминує супроводжуватися іскрінням, що залежно від різних причин може бути більш-менш інтенсивним.

Із всіх відомих причин, що впливають на іскріння під щіткою [1], тут ми приділимо увагу лише електромагнітним причинам, які викликають іскріння в результаті розриву додаткового поперечного струму комутації. Цей струм $i_{\text{дод}}$ виникає в короткозамкненій комутуючій секції під дією небалансової ЕРС Δe , що представляє собою залишкову величину після взаємодії реактивної e_p й комутаційної ЕРС. Остання вноситься в контур комутуючої секції додатковими полюсами, причому завжди прагнуть виконати умову $e_k = -e_p$. У цьому випадку, теоретично, комутація може бути безіскровою, тобто мати ступінь іскріння рівну 1 за ДСТ 183-74.

Оскільки комутаційна ЕРС є ЕРС обертання, то відповідно до закону Фарадея вона пропорційна індукції в зоні комутації B_k , що, у свою чергу, визначається станом магнітного ланцюга додаткових полюсів.

Таким чином, будь-які відхилення від розрахункових у розмірах ділянок магнітного ланцюга додаткових полюсів, викликані наявністю технологічних допусків, тобто відхилення від розрахункового значення величини $e_k \sim B_k$, неминує спричинити виникнення Δe , $i_{\text{дод}}$ і, як наслідок, іскріння. Додатковий поперечний струм комутації

$$i_{\text{дод}} = \frac{(e_p - e_k) + k_p \cdot e_p}{r_{\text{щ}} + r_c}, \quad (1)$$

де $r_{\text{щ}}$ – опір контакту щітка-колектор; r_c – опір секції.

Коефіцієнт $k_p = 0,18$ згідно [2] оцінює некомпенсовану частину ЕРС.

Опір $r_{\text{щ}}$ залежить від спадання напруги ΔU у двох перехідних шарах, що, у свою чергу, визначається щільністю струму в щітковому контакті і у широкому робочому діапазоні щільностей може бути в першому наближенні прийнятий рівним 2 В. [2].

Щіткове перекриття в сучасних тягових двигунів також у першому наближенні для подальших міркувань може бути прийняте $\gamma \approx 4,5$.

У цьому випадку, згідно [2], величина $r_{\text{щ}}$ буде дорівнювати:

$$r_{\text{щ}} = \frac{\Delta U}{I_{\text{щ}}} \cdot \gamma = \frac{9}{I_{\text{щ}}}, \quad (2)$$

де $I_{\text{щ}}$ – струм одного щіткотримача.

Далі, згідно [2],[3], варто визначити індуктивність комутуючої секції L_c ; при цьому необхідно знати повне значення провідності шляхів потоку розсіювання секції λ . Велика кількість виконаних розрахунків, перевірених на тягових двигунах, показало, що величина $\lambda \approx 3,6$. Тоді в першому наближенні

$$L_c = \frac{\pi}{\mu_0} \lambda \cdot l_y \cdot w_c^2 \cdot 10^{-6} = 9 \cdot l_y \cdot w_c^2 \cdot 10^{-6}, \quad (3)$$

де l_y – довжина пакета заліза якоря, м; w_c – число витків у секції.

Для судження про допустимість тієї або іншої величини небалансової ЕРС А. Б. Йоффе запропонував критерій у вигляді фактора іскріння.

$$\Phi_{\text{и}} = \left(\frac{0,4}{D_k} \right)^{1,5} \frac{L_c \cdot i_{\text{дод}}^2 \cdot v_k}{2t_k \cdot L_{\text{щ}} \cdot 10^2}, \quad (4)$$

де D_k – діаметр колектора, м; $L_{\text{щ}}$ – довжина щіток одного щіткотримача, м; v_k – окружна швидкість колектора, м/с; t_k – колекторний розподіл, м.

Розглянемо вплив зміни величини повітряного зазору на комутуючий магнітний потік, що визначає якість комутації для конкретного тягового двигуна.

Розрахунковий розмір повітряного зазору між додатковим полюсом та якорем становить 5 мм. Креслярський розмір допускає відхилення по зборці та висоті сердечника додаткового полюса рівним $\pm 0,15$ мм. Допуск на розточення остова під полюсами становить $\pm 0,2$ мм, креслярський допуск на висоту зубців якоря $\pm 0,07$ мм. Крім того, можлива відмінність у розмірах діелектричних прокладок в «другому» повітряному зазорі між додатковим полюсом і станиною, а також їхнє нещільне прилягання друг до друга й до станини. Кожна діелектрична прокладка має креслярський допуск $\pm 0,15$ мм, а у випадку застосування двох прокладок повітряний зазор під додатковим полюсом $\delta_{\text{д}}$ може змінитися на $\pm 0,3$ мм. З огляду на ці фактори повітряний зазор може змінитися на $\pm 0,72$ мм.

Магнітна індукція в зоні комутації дорівнює:

$$B_k = \frac{\Phi_k}{l_y \cdot b_{\delta_{\text{д}}}}, \quad (5)$$

де Φ_k – магнітний потік у зоні комутації, Вб; $b_{\delta_{\text{д}}}$ – розрахункова дуга наконечника додаткового полюса, м;

$$b_{\delta_{\text{д}}} = b_{\text{д}} + 2\delta_{\text{д}}, \quad (6)$$

де $\delta_{\text{д}}$ – повітряний зазор під, м; $b_{\text{д}}$ – ширина наконечника додаткового полюса, м.

Відповідно до методики, що викладена в [5], визначимо на скільки зміниться величина магнітного потоку в комутаційній зоні при зміні величини повітряного зазору.

Використовуючи вищевикладене одержимо при $\delta_{\text{д1}} = 5,72$ мм

$$b_{\delta_{\text{д1}}} = 0,012 + 2 \cdot \delta_{\text{д1}} \cdot 10^{-3} = 0,0234 \text{ м},$$

$$B_{\text{к1}} = \frac{\Phi \cdot 0,94 \cdot 10^{-3}}{l_y \cdot b_{\delta_{\text{д1}}}} = 0,084 \text{ Тл}.$$

Множник $2l_y \cdot w_c \cdot v_y$ у виразі для визначення $e_{\text{к}}$ не змінюється і дорівнює 22,13. У такий спосіб

$$e_{\text{к1}} = B_{\text{к1}} \cdot 22,13 = 1,8 \text{ В},$$

$$i_{\text{дод1}} = \frac{(2,1 - 1,8) + k_p \cdot 2,1}{r_{\text{щ}} + r_c} = 12,7 \text{ А},$$

при $\delta_{\text{д2}} = 4,28$ мм

$$b_{\delta_{\text{д2}}} = 0,012 + 2 \cdot \delta_{\text{д2}} \cdot 10^{-3} = 0,021 \text{ м},$$

$$B_{\text{к2}} = \frac{\Phi \cdot 1,06 \cdot 10^{-3}}{l_y \cdot b_{\delta_{\text{д2}}}} = 0,108 \text{ Тл},$$

$$e_{\text{к2}} = B_{\text{к2}} \cdot 22,13 = 2,39 \text{ В},$$

$$i_{\text{дод2}} = \frac{(2,1 - 2,39) + k_p \cdot 2,1}{r_{\text{щ}} + r_c} = 1,57 \text{ А}.$$

Оскільки для даного випадку всі величини у формулі (4), крім $i_{\text{дод}}$, не залежать від зміни параметрів додаткових полюсів, то незалежний множник дорівнює:

$$\left(\frac{0,4}{D_k} \right)^{1,5} \frac{L_c \cdot v_k}{2t_k \cdot L_{\text{щ}} \cdot 10^2} = 1,68 \cdot 10^{-3},$$

тоді фактор іскріння

$$\Phi_{\text{и}} = 1,68 \cdot 10^{-3} \cdot i_{\text{дод}}^2,$$

при $\delta_{\text{д1}} = 5,72$ мм

$$\Phi_{\text{и}} = 1,68 \cdot 10^{-3} \cdot i_{\text{дод1}}^2 = 0,14.$$

З характеристики, наведеної в [2], знаходимо ступінь іскріння, що дорівнює $1\frac{1}{2}$. При

$\delta_{\text{д2}} = 4,28$ мм $\Phi_{\text{и}} = 1,68 \cdot 10^{-3} \cdot i_{\text{дод2}}^2 = 1,5 \cdot 10^{-2}$, де ступінь іскріння дорівнює 1.

Оскільки при номінальному струмі якоря приймається $e_{\text{к}} = -e_p$, то через вплив допусків для номінального навантаження ступінь іскріння збільшиться й буде дорівнює $1\frac{1}{2}$. Зі збільшен-

ням навантаження Δe зростає і ступінь іскріння буде істотно перевищувати припустимі норми.

Досвід експлуатації тягових електричних машин постійного струму показав, що при ступені іскріння більше $1\frac{1}{2}$ можливе виникнення спалаху від провідних містків між суміжними ламелями. Спалах потім може перерости в колловий вогонь.

Ступінь іскріння також залежить від правильного визначення зони безискрової роботи. Вона, у свою чергу, залежить від значення небалансової ЕРС, що може змінитися в міру зміни повітряного зазору. Отже, використовуючи формулу В. Т. Касьянова [4], у якій відображається залежність зміни повітряного зазору від середньої точки області струмів додаткового живлення обмотки додаткових полюсів, можна розглянути вплив допусків на зону, при якій комутація буде залишатися безискровою.

Таким чином, після визначення зони безискрової роботи можна визначити нове значення повітряного зазору δ' або ж величину струму підживлення ΔI .

Значення «першого» повітряного зазору становить $\delta_{д1} = 5$ мм, а «другого» (діамагнітна прокладка) – $\delta_{д2} = 9$ мм. При цьому потрібно врахувати, що дія немагнітних прокладок можна вважати вдвічі більше сильним, чим дії «першого» зазору. Тоді фактичний зазор у додаткових полюсів складе 23 мм, а вплив допусків «другого» зазору теж буде збільшено вдвічі.

$$\delta' = \frac{\delta}{1 + \frac{\Delta I \cdot \Theta}{I \cdot \Theta - 1}}, \text{ звідси} \quad (7)$$

$$\Delta I = (\delta' - \delta) \cdot \frac{I \cdot (\Theta - 1)}{\delta' \cdot \Theta}, \quad (8)$$

де δ – значення повітряного зазору, мм; I – струм навантаження, А; ΔI – відповідна струму I середня точка області струмів додаткового живлення додаткових полюсів для забезпечення безискрової роботи, А; Θ – відношення намагнічувальної сили додаткових полюсів і компенсаційної обмотки до сили, що намагнічує валову реакцію якоря:

$$\Theta = \frac{8pa \cdot (w_d + w_k)}{N \cdot a_d}, \quad (9)$$

У формулі (9) p – число пар полюсів; a – число пар паралельних гілок обмотки якоря; w_d – число витків на одному додатковому полюсі; w_k – число витків компенсаційної обмот-

ки навколо одного додаткового полюса; N – загальне число провідників у якорі; a_d – число паралельних гілок обмотки додаткових полюсів і компенсаційної обмотки.

У розглянутому випадку

$$\Theta = \frac{8 \cdot 3 \cdot 3 \cdot (7 + 9)}{984 \cdot 1} = 1,17.$$

Згідно (8) ΔI рівні:

- при $\delta_{д1} = 24,02$ мм

$$\Delta I_1 = (24,02 - 23) \cdot \frac{380 \cdot (1,17 - 1)}{24,02 \cdot 1,17} = 2,34 \text{ А},$$

- при $\delta_{д2} = 21,98$ мм

$$\Delta I_2 = (21,98 - 23) \cdot \frac{380 \cdot (1,17 - 1)}{21,98 \cdot 1,17} = -2,72 \text{ А}.$$

Таким чином, видно, на скільки змінюється необхідна величина струмів додаткового живлення через вплив допусків на виготовлення деталей магнітного ланцюга додаткових полюсів, і як наслідок, їхнє посилення або ослаблення для забезпечення прийняттого ступеня іскріння на колекторі. Зміна повітряного зазору в ланцюгу ДП приводить до відхилення середньої лінії та звуженню зони безискрової роботи.

Висновок: отримані результати показують, що технологічні та виробничі відхилення в розмірах магнітного ланцюга додаткових полюсів можуть призвести до розбіжностей у величинах струмів підживлення ΔI . Ці розбіжності можуть бути зменшені на 45%, якщо допуски на виготовлення будуть зменшені вдвічі.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Безрученко В. М., Варченко В. К., Чумак В. В. Тягові електричні машини електрорухомого складу. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2003. – 252с.
2. Иоффе А. Б. Тяговые электрические машины. – М. – Л.: издательство «Энергия», 1965. – 232с.
3. Проектирование тяговых электрических машин. Под ред. М. Д. Находкина. Учебное пособие для вузов ж.-д. трансп. М., «Транспорт», 1976. 624с. Авт.: Находкин М. Д., Василенко Г. В.,
4. Бочаров В. И., Козорезов М. А.
5. Жерве Г. К. Промышленное испытание электрических машин. – М.: издательство «Энергия», 1959. – 463с.
6. Исаев И. П. Допуски на характеристики электрических локомотивов. – М.: «Транспорт», 1958. – 369 с.

Надійшла до редколегії 14.05.2007.