

## Підвищення ефективності процесу пуску тягових електродвигунів рухомого складу міського електричного транспорту

*Андрійченко В.П., Колонтаєвський Ю.П., Донець О.В., Харківська національна академія міського господарства*

При експлуатації тягових електродвигунів (ТЕД) рухомого складу міського електричного транспорту одним з основних режимів роботи є їхній пуск. Процес пуску можна розділити на дві стадії: першу, за якої регулюється напруга на якорі тягового електродвигуна, і другу, коли змінюється значення струму його збудження.

Швидкість обертання ТЕД при ослабленні поля регулюється:

- відключенням частини витків обмотки послідовного збудження;
- паралельним приєднанням до обмотки послідовного збудження шунтуючих резисторів;
- комбінацією перших двох способів;
- регулюванням збудження за допомогою спеціального збуджувача;
- імпульсним регулюванням збудження (при використанні електронних перетворювачів).

Ступінь ослаблення поля можна оцінити коефіцієнтом регулювання

$$\alpha = \frac{F_{OP}}{F_{III}}, \quad (1)$$

де  $F_{OP}$ ,  $F_{III}$  – намагнічуючі сили ослабленого і повного полів.

Відношення намагнічуючих сил дорівнює відношенню магнітних потоків на прямолінійній ділянці характеристики намагнічування. На ділянці, що відповідає насиченню, за умови однакової зміни намагнічуючих сил, магнітний потік змінюється менше, а отже

$$\frac{\Phi_{OP}}{\Phi_{III}} > \frac{F_{OP}}{F_{III}} = \alpha. \quad (2)$$

При регулюванні поля відключенням частини витків головного полюса коефіцієнт регулювання збудження становить

$$\alpha = \frac{F_{OP}}{F_{III}} = \frac{I \cdot w_1}{(I \cdot w)} = \frac{w_1}{w}, \quad (3)$$

де  $w_1$  – число витків обмотки збудження, що залишилося після відключення;  $w$  – повне число витків.

Секція обмотки збудження, що відключається, повинна бути від'єднана від ланцюга живлення, інакше вона виявиться замкнутою

накоротко і при різких змінах струму ТЕД у ній буде наводитися електрорушійна сила взаємодукції та буде затримуватися процес зміни магнітного потоку, а при різких коливаннях напруги в контактній мережі може бути порушена нормальна комутація і виникнути коловий вогонь на колекторі тягового електродвигуна. Такий спосіб регулювання застосовують при відносно неглибокому ослабленні поля, коли ослаблення виконується одним ступенем.

При використанні шунтуючих резисторів змінюється струм обмотки збудження. Маємо

$$\alpha = \frac{I_e \omega}{I \omega} = \frac{I_e}{I}, \quad (4)$$

де  $I_e, I$  – відповідно струм збудження і струм якоря ТЕД.

Недоліками вказаних способів регулювання є:

- при регулюванні поля з використанням переключення обмоток ТЕД необхідно мати додаткові відводи від обмоток збудження. Секціонування обмоток забезпечує більш стабільні швидкісні й тягові характеристики ТЕД, бо на ступінь ослаблення поля практично не впливає температура обмоток збудження;

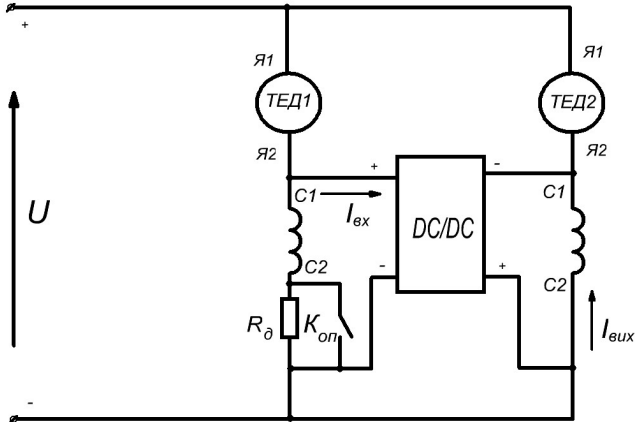
- при регулюванні поля з використанням активних опорів крім резисторів і контакторів потрібні додаткові елементи – індуктивні шунти. Також використання шунтуючих резисторів призводить до відхилення характеристик керування. Також є втрати енергії у шунтуючому колі.

Для ослаблення поля в багатодвигунових приводах можна застосовувати DC/DC перетворювач.

Схему включення перетворювача для ослаблення поля ТЕД наведено на рисунку. При цьому вхідне коло перетворювача забезпечує ослаблення поля першого двигуна, а вихідне коло – другого двигуна. Для вхідного і вихідного кіл DC/DC перетворювача можна записати:

$$I_{ex} U_{ex} = I_{vix} U_{vix}, \quad (5)$$

де  $I_{ex}, I_{vix}$  – вхідний та вихідний струми перетворювача;  $U_{ex}, U_{vix}$  – вхідна і вихідна напруги перетворювача.



### Ослаблення поля з використанням DC/DC перетворювача

Застосування в конструкції DC/DC перетворювача сучасних силових напівпровідникових приладів (БТІЗ, К-МОН транзисторів, повністю керованих тиристорів) забезпечує мінімальні габарити, масу та вартість пристрою. Відпрацьовані методи розрахунку подібних перетворювачів, наявність широкої номенклатури силових приладів, що працюють на високих частотах перетворення (десятки кілогерц) та інтегральних драйверів керування ними забезпечують ефективність застосування цього методу.