

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ОБЛАСТЕЙ ЗАСТОСУВАННЯ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ ТА ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ В ЯКОСТІ ТЯГОВИХ УСТАНОВОК ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Показано, що частотно-регульовані асинхронні електроприводи доцільно застосовувати в якості тягових установок лише в легкових автомобілях, вантажних автомобілях, призначених для перевезення легких вантажів, та в тролейбусах і трамваях міст, що лежать на горизонтальних поверхнях, а в якості тягових установок вантажних електромобілів, призначених для перевезення великих вантажів, та тролейбусів і трамваїв міст, що лежать на поверхнях зі складним рельсфом, доцільно застосовувати електроприводи постійного струму з електродвигунами послідовного збудження

Ключові слова: електромобіль, трамвай, тролейбус, тяговий електропривод, асинхронний електродвигун, електродвигун постійного струму з послідовним збудженням, область застосування

Abstract

It is shown that asynchronous electrical drive unit with adjustable frequency better to use as a traction unit only for passenger electric vehicles and electrical trucks that designed for light loads transportation and also for city trolleybuses and trams that lie on horizontal surface. But for freight electric vehicles that designed for large loads transportation and city trolleybuses and trams that lie on surfaces with difficult terrain is better to use electric DC motors with serial excitation.

Keywords: electric vehicle, trolleybus, tram, traction electrical drive, asynchronous motor, dc motor with series excitation, area of application

Постановка задачі

Більшість світових автовиробників починають наряду з бензиновими і дизельними автомобілями випускати і електромобілі, поки-що переважно легкові, на які ставлять частотно-регульований асинхронний електропривод.

Як відомо [1,2], обертовий момент M асинхронних електродвигунів визначається залежністю

$$M \approx \frac{cU_1^2}{\omega_1} \cdot \frac{sr_2}{r_2^2 + s^2x_2^2}, \quad (1)$$

де U_1 – напруга, що прикладається до обмотки статора асинхронного електродвигуна; ω_1 – кутова швидкість обертання електромагнітного поля обмотки статора; s – проковзування ротора; r_2, x_2 – відповідно, активний та реактивний опори короткозамкнутої обмотки ротора; c – константа, що визначається через паспортні дані асинхронного електродвигуна.

Якщо врахувати, що проковзування – це

$$s = \frac{\omega_1 - \omega}{\omega_1}, \quad (2)$$

де ω – кутова швидкість обертання ротора, то вираз (1) можна привести до вигляду –

$$M \approx \frac{cU_1^2(\omega_1 - \omega)r_2}{\omega_1^2 r_2^2 + (\omega_1 - \omega)^2 x_2^2}. \quad (3)$$

В свою чергу вираз (3) можна представити у вигляді рівняння –

$$\omega^2 + \frac{cU_1^2 r_2 - 2M\omega_1 x_2^2}{Mx_2^2} \omega + \frac{M\omega_1^2 (r_2^2 + x_2^2) - cU_1^2 \omega_1 r_2}{Mx_2^2} = 0, \quad (4)$$

додатній корінь якого можна знайти з виразу

$$\omega = \omega_1 - \frac{cU_1^2 r_2}{2Mx_2^2} + \sqrt{\frac{(cU_1^2 r_2 - 2M\omega_1 x_2^2)^2}{4M^2 x_2^4} - \frac{M\omega_1^2 (r_2^2 + x_2^2) - cU_1^2 \omega_1 r_2}{Mx_2^2}}, \quad (5)$$

який у згорнутому вигляді може бути записаний і як

$$\omega = f(\omega_1, M), \quad (6)$$

що дозволяє стверджувати, що кутова швидкість ω обертання ротора асинхронного електродвигуна є функцією f від кутової швидкості ω_1 обертання поля його статора та електромагнітного моменту M .

Конкретизуючи параметри у виразі (5) та задаючи для кожного фіксованого значення ω_1 ряд значень M , можна побудувати сімейство кривих (6), орієнтовний графік яких показано на рис.1 трьома самоподібними кривими.

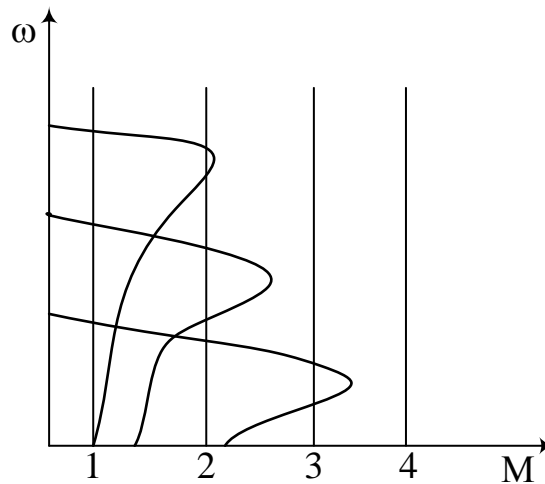


Рис. 1. Орієнтовні графіки залежностей кутової швидкості обертання роторів електродвигунів від електромагнітного моменту, що створюється на їх валах

На цьому ж рисунку вертикальними лініями зображено сімейство значень моменту навантаження $M_i, i = 1, 2, 3, 4$, який протидіє електромагнітному моменту електродвигуна згідно з рівнянням динаміки –

$$J \frac{d\omega}{dt} = M - M_i, \quad (7)$$

з якого витікає, що вал електродвигуна буде обертатись зі сталою кутовою швидкістю лише за умови, що

$$M = M_i. \quad (8)$$

В разі ж, якщо матимемо

$$M < M_i, \quad (9)$$

вал електродвигуна зупиниться і електромобіль, для якого цей електродвигун служить тяговою установкою, не зможе продовжувати рух. А якщо електромобіль долає підйом дороги, то при не накладенні механічних гальм на колеса він покотиться у цьому випадку назад.

А тепер розглянемо залежність кутової швидкості обертання ротора електродвигуна постійного струму з послідовним збудженням від його електромагнітного моменту, для якого, як відомо [1, 2], справедливими є рівняння:

$$\begin{aligned} U_1 &= E_j + I_j R, \\ E_j &= c_E \omega \Phi, \\ M &= c_M \Phi I_j, \end{aligned} \quad (10)$$

в яких c_E, c_M – паспортні константи; E_j, I_j – е.р.с. та струм в обмотці якоря, розміщеній на роторі; R – сумарний опір в колі обмотки якоря, до якого прикладена напруга U_1 від зовнішнього джерела, яким в електромобілі є акумуляторна батарея; Φ – магнітний потік, створюваний послідовною обмоткою збудження внаслідок проходження по ній струму I_j .

Із системи рівнянь (3), знайдемо, що

$$\omega = \frac{U_1 - I_j R}{c_E \Phi} = \frac{c_M}{c_E} \frac{U_1 I_j - I_j^2 R}{c_M \Phi I_j} = \frac{c_M}{c_E} \frac{P - \Delta P}{M} \quad (11)$$

Із виразу (11) видно, що кутова швидкість обертання ротора цього електродвигуна не стане рівною нулю доти, доки уся підведена від зовнішнього джерела електрична потужність не стане рівною її втратам на сумарному активному опорі в колі обмотки якоря, чого без додаткового уведення зовнішнього опору у це коло не станеться ніколи в принципі. Цей факт наочно підтверджується характером залежності $\omega = \varphi(M)$, орієнтовний графік якої приведено на рисунку у вигляді гіперболічної кривої. Тож, як бачимо із рисунку, для цієї кривої умова (9) без уведення додаткового опору в коло обмотки якоря не виникатиме ніколи. А тому електромобіль з тяговим електричним двигуном послідовного збудження не зменшуватиме кутову швидкість обертання колісної осі до нуля і не зупинятиметься, незважаючи на зростання моменту навантаження на цю вісь, яке завжди виникає під час руху електромобіля на підйом, особливо великовантажного.

Висновки

Із приведених співвідношень і графіків витікає, що частотно-регульований асинхронний електропривод доцільно використовувати лише в легкових електромобілях, вантажних електромобілях малої вантажотонажності та тролейбусах і трамваях у містах, розташованих на горизонтальній поверхні, тобто, для умов руху, під час здійснення якого не виникають моменти навантаження більші за ті, які можуть бути створеними асинхронними електродвигунами прийнятної потужності та габаритів А для створення тягового зусилля вантажних електромобілів великої вантажотонажності та тролейбусів і трамваїв у містах, розташованих на поверхнях зі складним рельєфом, де є круті підйоми, доцільно використовувати електродвигуни постійного струму з послідовним збудженням.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Брускин Д.Э. Электрические машины и микромашины./ Д.Э. Брускин, А.Е. Зорохович, В.С. Хвостов// М.: Высшая школа. – 1971. – 432 с.
2. Электротехнический справочник, т.2. Электротехнические устройства. Под общей редакцией проф. МЭИ В.Г. Герасимова, П.Г. Грудинского, Л.А. Жукова и др. – 6-е изд., испр. И доп. – М.: Энергоиздат. – 1981. – 640 с.

Мокін Олександр Борисович – д.т.н., проф., завідувач кафедри відновлювальної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів (ВЕТЕСК).

Мокін Борис Іванович – акад. НАПН України, д.т.н., проф., професор кафедри ВЕТЕСК.

Лобатюк Віталій Анатолійович – аспірант кафедри ВЕТЕСК, e-mail: vitalik.htc@gmail.com .

Mokin Oleksandr B. – Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Chair of Renewable Energy and Transport Electrical Systems and Complexes.

Mokin Borys I. – Academician of NAPS of Ukraine, Dr. Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Chair of Renewable Energy and Transport Electrical Systems and Complexes;

Lobatiuk Vitalii A. – Post-Graduate Student of the Chair of Renewable Energy and Transport Electrical Systems and Complexes, e-mail: vitalik.htc@gmail.com .