

УДК 621.314.3

В.М.КОВАЛЬОВ, канд. техн. наук, Д.О.БЛОХА
Харківська національна академія міського господарства

МОДЕЛЬ ДВИГУНА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ РОЗРАХУНКІВ РЕЖИМІВ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

Розглядаються питання моделювання двигуна постійного струму з незалежним збудженням шляхом застосування схеми заміщення, що дозволяє спростити процес автоматичного формування диференціальних рівнянь математичної моделі системи «двигун – перетворювач». Наведено формули для розрахунку елементів схеми заміщення виходячи з параметрів електродвигуна.

Рассматриваются вопросы моделирования двигателя постоянного тока с независимым возбуждением путем применения схемы замещения, что позволяет упростить процесс автоматического формирования дифференциальных уравнений математической модели системы «двигатель – преобразователь». Приведены формулы для расчета элементов схемы замещения исходя из параметров электродвигателя.

The issues concerning modeling DC motor with separate excitation are treated. Focus is on developing equivalent circuit adequately presenting “motor-converter” system. The aim is to pursue equations to connect motor characteristics and equivalent circuit parameters.

Ключові слова: двигун постійного струму, схема заміщення, математична модель системи «двигун – перетворювач».

Розвиток напівпровідникової техніки призвів до широкого застосування тиристорних та транзисторних перетворювачів в автоматизованому електроприводі. Разом з поширенням використання напівпровідникових перетворювачів для живлення електроприводів зростає актуальність задачі математичного моделювання всієї системи електроприводу, яка, як правило, складається з двигуна, напівпровідникового перетворювача та системи автоматичного керування.

Для вирішення задачі математичного моделювання системи електроприводу найбільшого поширення набули такі два методи:

1. Представлення двигуна і перетворювача набором ланок з певними передатними функціями (неперервними або дискретними), наприклад в [1, 2].
2. Представлення електроприводу системою диференціальних та алгебраїчних рівнянь, наприклад в [3].

Перший метод широко застосовується і є зручним при синтезі системи керування електроприводом та дослідженні впливу її структури та параметрів на якість перехідних процесів у системі електроприводу.

Другий метод, здебільшого, застосовується для аналізу специфічних електроприводів, а також за умов суттєвої нелінійності системи, для систем, що описуються диференціальними рівняннями зі змінними в часі коефіцієнтами, і т.д.

До недоліків першого методу слід віднести високий рівень абстрактності, застосування його для імітаційного моделювання системи з визначенням режимів роботи напівпровідникових елементів перетворювача є ускладненим. Другому методу властива висока складність, що обумовлена ручним складанням системи рівнянь.

Крім того, більшість існуючих методів не дозволяють моделювати струми у вентилях, зокрема, в режимі струмів, що перериваються, та в інверторних режимах при електричному гальмуванні електропривода.

В той же час існують апробовані автоматичні методи і програми для розрахунку схем з напівпровідниковими перетворювачами. Для них актуальним є доповнення моделі перетворювача моделлю електродвигуна, яке дозволить проводити імітаційне моделювання електро-механічної системи «перетворювач – двигун».

Метою нашого дослідження є розробка методу математичного моделювання системи електроприводу на основі напівпровідникового перетворювача в колі якоря двигуна постійного струму з незалежним збудженням за допомогою сигнальних графів [4].

Як відомо [1], в задачах моделювання систем електроприводу постійного струму коло якоря двигуна з незалежним збудженням представляють схемою, яка показана на рис.1.

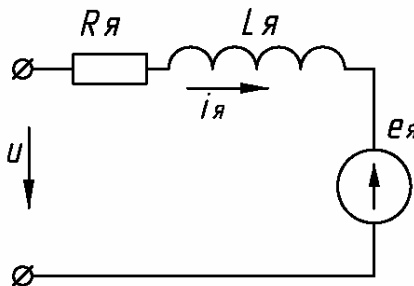


Рис.1 – Схема кола якоря двигуна постійного струму з незалежним збудженням: $R_я$ – активний опір кола; $L_я$ – індуктивність кола якоря; $e_я$ – електрорушійна сила обертання якоря; u – прикладена до кола якоря напруга напівпровідникового перетворювача.

З урахуванням наведеної вище схеми кола якоря двигуна і допущення про лінійність активного опору та індуктивності кола якоря роботу двигуна постійного струму з незалежним збудженням при керуванні ним зміною напруги живлення кола якоря описує система рівнянь

$$\begin{cases} u = i_{\text{я}} R_{\text{я}} + L_{\text{я}} \frac{di_{\text{я}}}{dt} + e_{\text{я}} \\ M_{\text{д}} - M_{\text{мх}} = J_{\text{дм}} \frac{d\omega}{dt} \\ e_{\text{я}} = K_e \omega \\ M_{\text{д}} = K_M i_{\text{я}} \end{cases}, \quad (1)$$

де $M_{\text{д}}$ – момент обертання якоря двигуна; $M_{\text{мх}}$ – момент опору механізму; $J_{\text{дм}}$ – момент інерції двигуна і механізму; K_e , K_M – коефіцієнти, що залежить від конструкції двигуна та магнітного потоку збудження.

З системи (1) очевидно, що двигун являє собою систему з двома входами і двома змінними стану. Змінними стану двигуна є швидкість обертання та струм якоря, а входними величинами – напруга перетворювача та момент опору механізму. З урахуванням цього та (1) роботу двигуна опишемо матричним рівнянням

$$\begin{bmatrix} \frac{di_{\text{я}}}{dt} \\ \frac{d\omega}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R_{\text{я}}}{L_{\text{я}}} & -K_e \\ \frac{K_M}{J_{\text{дм}}} & 0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} i_{\text{я}} \\ \omega \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L_{\text{я}}} & 0 \\ 0 & -\frac{1}{J_{\text{дм}}} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} u \\ M_{\text{мх}} \end{bmatrix}. \quad (2)$$

З (1) і (2) випливає, що електрична енергія, яка подається в коло якоря двигуна витрачається двома шляхами (якщо не враховувати втрати в активному опорі кола якоря): на збільшення швидкості обертання двигуна та на подолання моменту опору механізму.

Виходячи з таких міркувань, коло якоря модельованого двигуна постійного струму можна представити схемою заміщення, наведеною на рис.2.

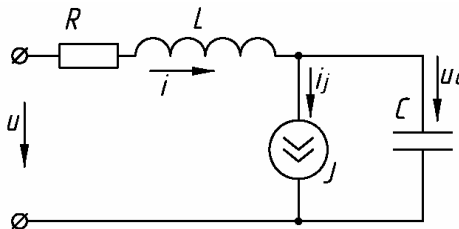


Рис.2 – Схема заміщення кола якоря двигуна постійного струму

Диференціальне рівняння в матричній формі, що описує процеси в схемі заміщення має вигляд:

$$\begin{bmatrix} \frac{di}{dt} \\ \frac{du_c}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R}{L} & -\frac{1}{L} \\ \frac{1}{C} & 0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} i \\ u_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L} & 0 \\ 0 & -\frac{1}{C} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} u \\ i_j \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Співставлення (3) з (2) свідчить, що процеси в схемі заміщення відповідають процесам у колі якоря двигуна, оскільки описуються однаковим диференціальним рівнянням у матричній формі. Порівняння схем на рис.1, 2 вказує, що для схеми заміщення $R=R_{я}$, $L=L_{я}$.

Заряд конденсатора C відповідає збільшенню швидкості обертання якоря двигуна, а струм джерела струму J схеми заміщення відповідає моменту опору механізму двигуна. Струм джерела пов'язаний із значенням моменту опору формулою, що впливає з системи (1)

$$i_j = \frac{M_{мк}}{K_M}. \quad (4)$$

Напруга конденсатора схеми заміщення відповідає швидкості обертання якоря двигуна, ця залежність виражається формулою

$$\omega = \frac{u_c}{K_e}. \quad (5)$$

Величину ємності конденсатора C схеми заміщення знайдемо виходячи з умови рівності енергії, що накопичується у обертальній частині двигуна і механізму, енергії заряду конденсатора.

Кінетична енергія обертання якоря двигуна і механізму дорівнює

$$W_k = \frac{J_{дм} \omega^2}{2}. \quad (6)$$

Електрична енергія накоплена в зарядженому конденсаторі виражається формулою

$$W_c = \frac{Cu_c^2}{2}. \quad (7)$$

Виходячи з рівності енергій (6) і (7) величина ємності конденсатора схеми заміщення дорівнює

$$C = J_{дм} \left(\frac{1}{K_e} \right)^2. \quad (8)$$

Запропонована схема заміщення (рис.2) дає змогу моделювати перехідні процеси в системі «напівпровідниковий перетворювач – двигун постійного струму» при регулюванні напруги живлення якоря чи

змінах моменту опору привідного механізму.

Розроблена модель двигуна постійного струму дає змогу проводити імітаційне моделювання системи керування, напівпровідникового перетворювача та двигуна постійного струму за методом сигнальних графів [4] (або іншим методом), у тому числі в режимі струмів, що перериваються, та в інверторному режимі без ускладнення алгоритму програми автоматизованого розрахунку за рахунок представлення двигуна колом з лінійних елементів.

1. Файнштейн В.Г., Файнштейн Э.Г. Микропроцессорные системы управления тиристорными электроприводами / Под ред. О.В.Слежановского. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 240 с.

2. Клепиков В.Б., Асмолова Л.В., Обруч И.В. Срывные функциональные автоколебания в электромеханических системах и их устранение // Технічна електродинаміка. – 2007. – №2. – С.35-41.

3. Синчук О.Н., Мельник О.Е. Математическое моделирование добавочных потерь энергии в тяговых двигателях постоянного тока при импульсном регулировании напряжения // Технічна електродинаміка. Тематичний випуск «Силова електроніка та енергоефективність». Ч.2. – 2008. – С.130-132.

4. Ягуп В.Г. Автоматизированный расчет тиристорных схем. – Харьков: Вища школа, 1986. – 160 с.

Отримано 17.03.2009

УДК 621.313

М.В. ЧЕРНЯВСКАЯ, М.Л. ГЛЕБОВА, И.Т. КАРПАЛЮК, кандидаты техн. наук
Харьковская национальная академия городского хозяйства

ОПИСАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ВЕНТИЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДУЛЬНОГО ПРИНЦИПА

Рассматриваются принципы работы вентиляльных двигателей. Проанализированы допущения, принятые для конкретной модификации схем включения с целью получения сравнительных характеристик.

Розглядаються принципи роботи вентильних двигунів. Проаналізовано припущення, прийняті до конкретної модифікації схем включення з метою отримання порівняльних характеристик.

The principle of the work of ac electronic motors was considered. The modifications circuit of the ac electronic motors was analyzed. The compare characteristics were got.

Ключевые слова: вентильный двигатель, модульный принцип.

Потребность в электроприводах большой мощности с широким и плавным диапазоном регулирования частоты вращения на современном этапе развития не может быть обеспечена в полной мере за счет традиционных машин постоянного тока (МПТ), где щеточно-коллекторный узел накладывает серьезные ограничения на предельные