

УДК: 62-83:629

АНАЛИЗ ДВУХДВИГАТЕЛЬНОГО ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Хараджян А., к.т.н, доц.

Криворожский государственный педагогический университет

Мельник О.Е., магис.

Международная академия управления персоналом, Криворожский филиал

Ключка А.С., соиск.

Кременчугский государственный политехнический университет

имени Михаила Остроградского

39614 г. Кременчуг, ул. Первомайская, 20

E-mail: energy@polytech.poltava.ua

Наведені результати дослідження електромагнітних процесів у дводвигунному тяговому електроприводі.

Ключевые слова: тяговый электропривод, электромагнитні процеси.

Results of the study of the electromagnetic processes are brought in article in two-motor tractive electric drive.

Key words: tractive electric drive, electromagnetic processes.

Введение. Структура тягового электропривода большинства видов электрифицированного транспорта (вагонов метрополитена, рудничных электровазов и т.д.) предусматривает постоянное изменение топологии – переключения с параллельного на последовательное соединение тяговых двигателей и наоборот [1].

Анализ предыдущих исследований. Изменения структуры привода требуют разработки эффективных адаптивных систем управления. Однако при этом необходим глубокий анализ влияния возмущающих воздействий (различие параметров тяговых двигателей, различие диаметров колес и т.д.) на систему привода.

Цель работы. Получение качественных показателей влияния изменений параметров электрических двигателей постоянного тока последовательного возбуждения на общие электромеханические характеристики двухдвигательного тягового электропривода в функции их соединения.

Материалы и результаты исследований. Рассмотрим для примера работу двигателей последовательного возбуждения ДТН-45 с паспортными данными: $P_n = 50$ кВт, $U_n = 660$ В, $I_n = 80$ А, $\omega_n = 157$ 1/с, $R_n = 0,4375$ Ом, $K_{\Phi n} = 3,98$ Вс.

Для упрощения аналитических выражений принимаем, что двигатели работают в линейной области кривой намагничивания, и коэффициент потока двигателя можно представить в виде $K_F = kI_a$. Коэффициент характеристики намагничивания

$$k = \frac{K_{\Phi n}}{I_n} = \frac{3.98 \text{ Вc}}{80 \text{ А}} = 0.0497.$$

Для случая отличающихся параметров машин примем параметры одного двигателя за базовые, а параметры второго выразим следующим образом:

$$R_2 = a_r R_1, k_2 = a_k k_1,$$

где α_r, α_k – коэффициенты отличия параметров второй машины от первой.

С учетом того, что двигатели работают с жесткой механической связью, можно принять, что их скорости вращения равны.

Параллельное соединение тяговых двигателей. Уравнения, описывающие работу двух двигателей при параллельном соединении (рис. 1,а) в статическом режиме, имеют следующий вид:

$$U = I_1 R_1 + K_{F1} \omega;$$

$$U = I_2 R_2 + K_{F2} \omega;$$

$$I = I_1 + I_2;$$

$$M_{cm} = k_1 i_1^2 + k_2 i_2^2.$$

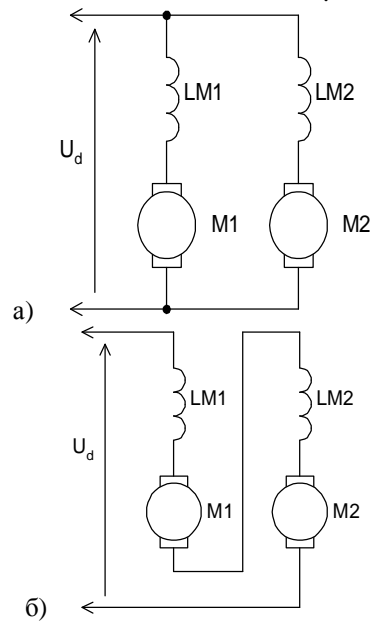


Рисунок 1 – Схемы включения двигателей:
а) параллельное соединение; б) последовательное соединение

Выполним подстановки и получим

$$U = I_1 R_1 + k_1 I_1 w; \quad (1)$$

$$U = I_2 R_2 + k_2 I_2 w. \quad (2)$$

С учетом принятых допущений из (1) и (2) получим

$$w = \frac{U - I_1 R_1}{k_1 I_1} = \frac{U - I_2 R_2}{k_2 I_2}. \quad (3)$$

Электромагнитный момент системы привода определяется выражением:

$$M_S = M_1 + M_2 = k_1 I_1^2 + k_2 I_2^2. \quad (4)$$

Выражения (3) и (4) позволяют определить однозначную зависимость между токами.

Выразим из (4) ток I_2 :

$$I_2 = \sqrt{\frac{M_S - k_1 I_1^2}{k_2}}.$$

Преобразуем (3) к виду

$$(U - I_1 R_1) k_2 I_2 = (U - I_2 R_2) k_1 I_1$$

и выполним подстановку

$$\begin{aligned} (U - I_1 R_1) k_2 \sqrt{\frac{M_S - k_1 I_1^2}{k_2}} &= \\ &= \left(U - \sqrt{\frac{M_S - k_1 I_1^2}{k_2}} R_2 \right) k_1 I_1. \end{aligned} \quad (5)$$

Аналогично определим выражение и для тока I_2 :

$$\begin{aligned} \left(U - \sqrt{\frac{M_S - k_2 I_2^2}{k_1}} R_1 \right) k_2 I_2 &= \\ &= (U - I_2 R_2) k_1 \sqrt{\frac{M_S - k_2 I_2^2}{k_1}}. \end{aligned} \quad (6)$$

Преобразуем выражения (5):

$$\begin{aligned} \left(U^2 k_1^2 I_1^2 + k_1^2 I_1^2 R_2^2 \left(\frac{M_S - k_1 I_1^2}{k_2} \right) - \right. \\ \left. - k_2 \left(U^2 - 2 U I_1 R_1 + I_1^2 R_1^2 \right) \left(M_S - k_1 I_1^2 \right) \right)^2 &= \\ = 4 k_1^4 I_1^4 U^2 R_2^2 \frac{M_S - k_1 I_1^2}{k_2}. \end{aligned}$$

В результате получено выражение относительно тока I_1 8-ой степени. Аналитического решения для уравнений 8-го порядка нет. Поэтому токи и их отношения будут определены численно.

Для сравнения режимов работы тяговых двигателей найдем отношения

$$K_i = \frac{I_1}{I_2} \text{ – токов;}$$

$$K_M = \frac{M_1}{M_2} = \frac{k_1 I_1^2}{k_2 I_2^2} = \frac{k_1}{k_2} K_i^2 = \frac{1}{a_k} K_i^2 \text{ – элект-}$$

ромагнитных моментов;

$$K_P = \frac{P_{\Sigma 1}}{P_{\Sigma 2}} = \frac{U I_1}{U I_2} = K_i \text{ – электрической мощно-}$$

сти;

$$K_P = \frac{P_{\Sigma M 1}}{P_{\Sigma M 2}} = \frac{w k_1 I_1^2}{w k_2 I_2^2} = K_M \text{ – электромагнитной}$$

мощности.

Таким образом, достаточно определить коэффициенты по току и моменту.

Выполняя моделирование запуска машин, выполним оценку влияния изменения параметров на соотношения токов, моментов и т.д. Наиболее интересные результаты моделирования приведены на рис. 2.

Последовательное соединение тяговых двигателей. Уравнения, описывающие работу двух тяговых двигателей при последовательном соединении (рис. 1, б), имеют следующий вид:

$$U_1 = I R_1 + K_{F1} w;$$

$$U_2 = I R_2 + K_{F2} w;$$

$$U = U_1 + U_2; \quad (7)$$

$$M_{cm} = (k_1 + k_2) I^2. \quad (8)$$

После преобразований получим

$$U_1 = I R_1 + k_1 I w; \quad (9)$$

$$U_2 = I R_2 + k_2 I w. \quad (10)$$

Ток якорей определяется выражением

$$I = \sqrt{\frac{M_{cm}}{k_1 + k_2}}. \quad (11)$$

Выражая из (9) скорость, подставив ее в (10), а (10) и (11) – в (7) – получим выражение для напряжения U_1 :

$$U_1 = \frac{U - \sqrt{\frac{M_{cm}}{k_1 + k_2}} \left(R_2 - R_1 \frac{k_2}{k_1} \right)}{1 + \frac{k_2}{k_1}}. \quad (12)$$

Выражая из (10) скорость, подставив ее в (9), а (9) и (11) – в (7) – получим выражение для напряжения U_2

$$U_2 = \frac{U - \sqrt{\frac{M_{cm}}{k_1 + k_2}} \left(R_1 - R_2 \frac{k_1}{k_2} \right)}{1 + \frac{k_1}{k_2}}. \quad (13)$$

Аналогично предыдущей схеме для сравнения режимов работы тяговых двигателей найдем отношения токов и моментов. Результаты моделирования приведены на рис. 3.

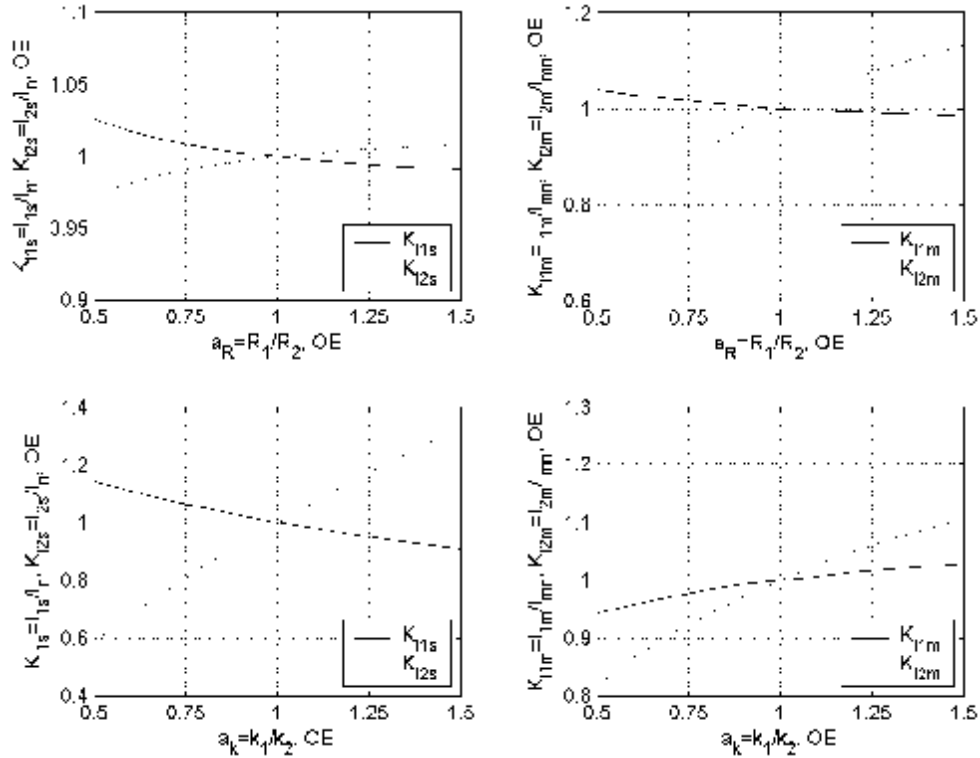


Рисунок 2 – Влияние изменения активного сопротивления и потока двигателей при прямом пуске и параллельном соединении:
 а) в) на соотношение характеристик двигателей в статическом режиме;
 б) г) на отклонение характеристик от номинального в динамическом режиме

Проанализируем результаты моделирования по каждому параметру при изменении параметров (активное сопротивление, индуктивность, поток) от 0.5

до 1.5 номинального значения. Обобщенные результаты моделирования и анализа приведены в табл. 1.

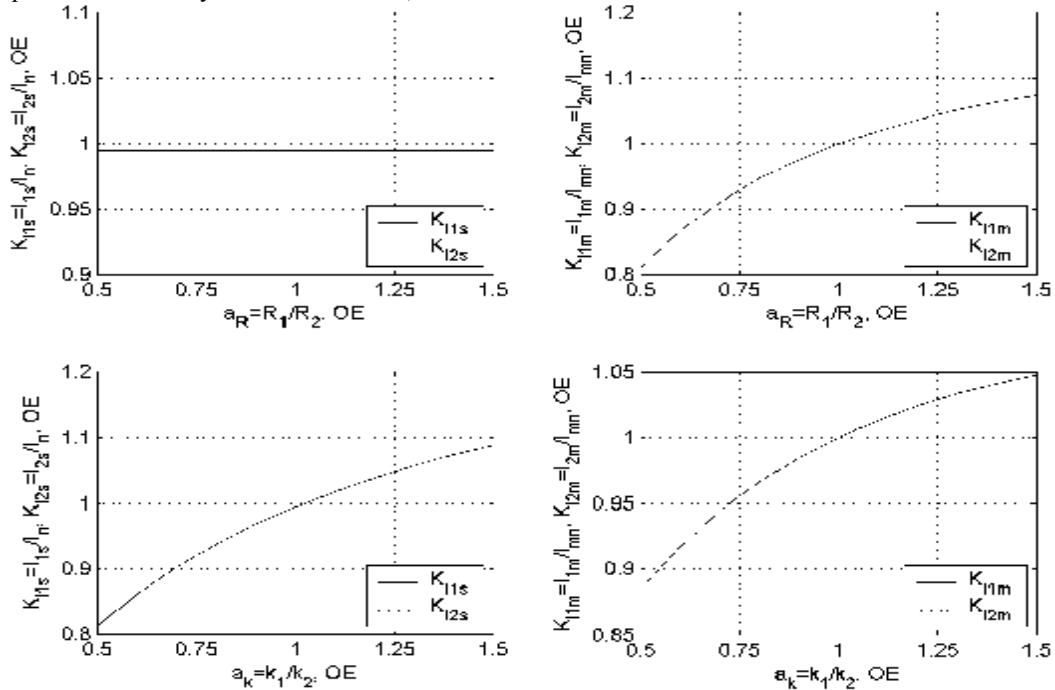


Рисунок 3 – Влияние изменения активного сопротивления и потока двигателей при прямом пуске и последовательном:
 а) в) на соотношение характеристик двигателей в статическом режиме;
 б) г) на отклонение характеристик от номинального в динамическом режиме

Таблиця 1 – Результати моделювання

Режим	Паралельне з'єднання	Послідовне з'єднання
Влияние изменения активного сопротивления		
статический	Изменение K_M не превышает 15%. Изменение K_R, K_I не превышает 6%.	Изменение K_M, K_R, K_I не превышает 10%.
динамический	Изменение K_M не превышает 120% при прямом пуске и 50% при линейном. Изменение K_R, K_I не превышает 50% при прямом пуске и 20% при линейном	Изменение K_M, K_R, K_I не превышает 60% при прямом пуске и 15% при линейном.
Влияние изменения потока		
статический	Изменение K_M, K_R, K_I не превышает 70-100%.	Изменение K_M, K_R, K_I не превышает 50%.
динамический	Изменение K_M, K_R, K_I не превышает 15% при прямом пуске и не превышает 70-100% при линейном.	Изменение K_M, K_R, K_I не превышает 10-20% при прямом пуске и не превышает 50% при линейном.
Влияние изменения индуктивности		
динамический	Изменение K_M, K_R, K_I не превышает 15-40% при прямом пуске. При линейном – влияния нет.	Изменение K_M, K_R, K_I не превышает 20% при прямом пуске. При линейном – влияния нет.

Выводы. В статическом (длительном) режиме изменение сопротивления якоря не оказывает существенного влияния, и отклонение тока якоря от номинала составляет до 3%. Однако изменение потока двигателей приводит к существенному отклонению токов от номинала до 20%, т.е. двигатель оказывается перегружен по току и больше нагревается. При последовательном соединении двигателей и изменении потока, активного сопротивления и индуктивности возможно перераспределение напряжений до 20%.

Таким образом, наиболее легкий режим работы наблюдается у двигателей с различающимися параметрами при последовательном соединении и плавном пуске.

ЛИТЕРАТУРА

1. Синчук О.Н., Юрченко Н.Н., Чернышев А.А., Синчук И.О., Удовенко О.А., Пасько О.В., Гузов Э.С. Комбинаторика преобразователей напряжения современных тяговых электроприводов рудничных электровозов // Под ред. докт. техн. н. О.Н. СинчукаЖ Научное издание НАН Украины. Институт электродинамики. – К., 2006. – 250 с.
2. Синчук О.Н., Чумак В.В., Ершов О.В. Импульсные системы управления и защиты на рудничном электровозном транспорте // Под ред. О.Н. Синчука. – К., 1997. – 280 с.

Стаття надійшла 26.09.2007р.
Рекомендовано до друку д.т.н., проф.
Чорним О.П.