

УДК: 621.313

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТЯГОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ НА РЕЖИМЫ РАБОТЫ ГРУППОВЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ РУДНИЧНЫХ ЭЛЕКТРОВЗОВ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ПО СИСТЕМЕ МНОГИХ ЕДИНИЦ

Синчук О.Н., д.т.н., проф., Коваль О.А., маги.

Кременчугский государственный политехнический университет имени Михаила Остроградского

Хараджян А.А., к.т.н., доц.

Криворожский государственный педагогический университет

Ключка А.С., соиск.

39614 г. Кременчуг, ул. Первомайская, 20

E-mail: energy@polytech.poltava.ua

Викладено аналіз впливу параметрів тягових двигунів на режими роботи групових електроприводів рудникових електровозів при управлінні за системою багатьох одиниць.

Ключові слова: тяговий двигун, рудниковий електровоз.

In the article the analysis of influencing of parameters of hauling engines is expounded on modes of operations electric drive of groups electric locomotives of mines at a management by system of many units.

Key words: tractive engine, mining electric locomotive.

Введение. В процессе эксплуатации подвижного состава в подземных выработках шахт возникает необходимость увеличения сцепной массы электровоза. Прямое увеличение мощности и, соответственно, размеров локомотивов ограничено размерами шахтных выработок. Поэтому альтернативным подходом к решению данной проблемы является использование двух локомотивов в одном составе или, так называемое, управление по системе многих единиц. Однако при этом возникает сложность в согласовании характеристик двигателей, т.к. между ними всегда существует определенный разброс.

Цель работы. Определить статические характеристики, и оценить влияние изменения параметров двигателей на характеристики группового тягового электропривода рудничных электровозов при управлении по системе многих единиц.

Материалы исследований. Рассмотрим работу группового привода двух рудничных электровозов, когда каждый электровоз имеет по два приводных тяговых двигателя (один двигатель на одну колесную пару) типа ДНТ45 с параметрами:

- номинальная мощность 45 кВт;
- номинальное напряжение 250 В;
- номинальный ток 204 А;
- номинальная частота вращения 1340 об/мин;
- номинальный КПД 0,905;
- возбуждение последовательное.

Питание группы осуществляется от общего широтно-импульсного преобразователя с параметрами:

- максимальное напряжение 275 В;
- скважность импульсов 0,75.

При выполнении расчетов вводятся следующие допущения:

- между всеми колесными парами существует абсолютно жесткая механическая связь;
- работа двигателей происходит в линейной области кривой намагничивания магнитной системы.

Принимаем, что коэффициент потока двигателя линейно зависит от тока якоря:

$$k\Phi = bI, \quad (1)$$

где b – коэффициент наклона кривой намагничивания при номинальном токе возбуждения (коэффициент связи потока и тока возбуждения (тока якоря)).

Наибольший интерес представляют три варианта включения двигателей:

- последовательно-параллельное (рис. 1);
- параллельное (рис. 2, а);
- последовательное (рис. 2, б).

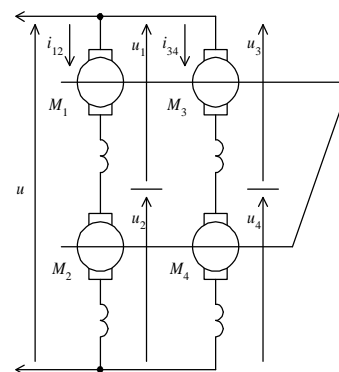


Рисунок 1 – Схема последовательно-параллельного соединения двигателей

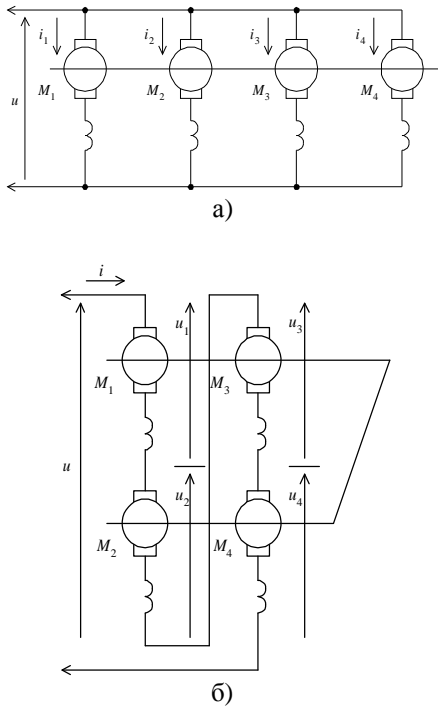


Рисунок 2 – Схема соединения двигателей:
а) параллельного; б) последовательного.

Аналитические выражения для характеристик четырехдвигательного тягового электропривода.

1. Основные соотношения для системы при последовательно-параллельном соединении двигателей.

Суммарный момент от всех двигателей можно представить с учетом (1) следующим выражением:

$$M = I_{12}(k\Phi_1 + k\Phi_2) + I_{34}(k\Phi_3 + k\Phi_4) = I_{12}^2(b_1 + b_2) + I_{34}^2(b_3 + b_4) \quad (2)$$

где b_1, b_2, b_3, b_4 — коэффициент пропорциональности между током якоря и коэффициентом потока.

Из уравнения баланса напряжений для первой ветви

$$U = \omega(k\Phi_1 + k\Phi_2) + I_{12}(R_1 + R_2) = \omega I_{12}(b_1 + b_2) + I_{12}(R_1 + R_2)$$

определяем ток ветви:

$$I_{12} = \frac{U}{\omega(b_1 + b_2) + (R_1 + R_2)} \quad (3)$$

Соответственно из уравнения баланса напряжений второй ветви:

$$U = \omega(k\Phi_3 + k\Phi_4) + I_{34}(R_3 + R_4) = \omega I_{34}(b_3 + b_4) + I_{34}(R_3 + R_4)$$

определяем ток ветви

$$I_{34} = \frac{U}{\omega(b_3 + b_4) + (R_3 + R_4)} \quad (4)$$

Выполнив подстановку (3) и (4) в выражение (2), получим:

$$M = \left(\frac{U}{\omega(b_1 + b_2) + (R_1 + R_2)} \right)^2 (b_1 + b_2) + \left(\frac{U}{\omega(b_3 + b_4) + (R_3 + R_4)} \right)^2 (b_3 + b_4)$$

Откуда, после преобразований, получаем:

$$M = U^2 \left[\frac{(b_1 + b_2)^2}{(\omega(b_1 + b_2) + (R_1 + R_2))^2} + \frac{(b_3 + b_4)^2}{(\omega(b_3 + b_4) + (R_3 + R_4))^2} \right]$$

2. Основные соотношения для системы при параллельном соединении двигателей.

Уравнения баланса напряжений для каждого двигателя с учетом (1) имеют следующий вид:

$$U = I_1(\omega b_1 + R_1);$$

$$U = I_2(\omega b_2 + R_2);$$

$$U = I_3(\omega b_3 + R_3);$$

$$U = I_4(\omega b_4 + R_4).$$

Соответственно токи в двигателях –

$$I_1 = \frac{U}{(\omega b_1 + R_1)} \quad (5)$$

$$I_2 = \frac{U}{(\omega b_2 + R_2)} \quad (6)$$

$$I_3 = \frac{U}{(\omega b_3 + R_3)} \quad (7)$$

$$I_4 = \frac{U}{(\omega b_4 + R_4)} \quad (8)$$

Суммарный момент от всех двигателей определяется выражением:

$$M = I_1 k\Phi_1 + I_2 k\Phi_2 + I_3 k\Phi_3 + I_4 k\Phi_4 = I_1^2 b_1 + I_2^2 b_2 + I_3^2 b_3 + I_4^2 b_4 \quad (9)$$

Выполним подстановку (5-8) в выражение (9):

$$M = \left(\frac{U}{\omega b_1 + R_1} \right)^2 b_1 + \left(\frac{U}{\omega b_2 + R_2} \right)^2 b_2 + \left(\frac{U}{\omega b_3 + R_3} \right)^2 b_3 + \left(\frac{U}{\omega b_4 + R_4} \right)^2 b_4$$

После преобразований получим:

$$M = U^2 \left[\frac{b_1}{(\omega b_1 + R_1)^2} + \frac{b_2}{(\omega b_2 + R_2)^2} + \frac{b_3}{(\omega b_3 + R_3)^2} + \frac{b_4}{(\omega b_4 + R_4)^2} \right]$$

3. Основные соотношения для системы при последовательном соединении двигателей.

Уравнение баланса напряжений

$$U = \omega(k\Phi_1 + k\Phi_2 + k\Phi_3 + k\Phi_4) + I(R_1 + R_2 + R_3 + R_4)$$

После преобразований с учетом (1) –

$$U = I \left(\omega(b_1 + b_2 + b_3 + b_4) + (R_1 + R_2 + R_3 + R_4) \right)$$

Ток якореї всіх двигателів однаков і рівен:

$$I = \frac{U}{\omega(b_1 + b_2 + b_3 + b_4) + (R_1 + R_2 + R_3 + R_4)} \quad (10)$$

Суммарний момент от всех двигателів определяється вираженням:

$$M = I(k\Phi_1 + k\Phi_2 + k\Phi_3 + k\Phi_4) = I^2(b_1 + b_2 + b_3 + b_4) \quad (11)$$

Виповним підстановку (10) в вираження (11):

$$M = U^2 \frac{(b_1 + b_2 + b_3 + b_4)}{(\omega(b_1 + b_2 + b_3 + b_4) + (R_1 + R_2 + R_3 + R_4))^2}$$

Для сравнения режимов работы схем на рис. 1 выполним анализ влияния отклонения параметров одного и двух двигателей от номинальных значений (активного сопротивления цепи якоря и потока) на режимы работы всех двигателей системы. Сравнение выполняется на основании следующих показателей:

– относительное напряжение на двигателе:

$$\Delta U = \frac{U - U_0}{U_0} 100;$$

– относительный ток якоря $\Delta I = \frac{I - I_0}{I_0} 100;$

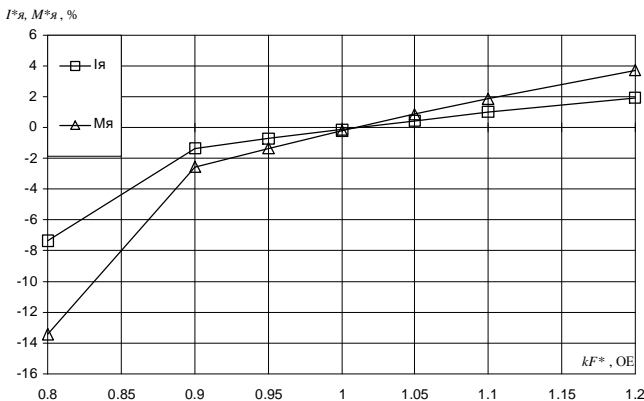
– относительный момент $\Delta M = \frac{M - M_0}{M_0} 100;$

где U, I, M — напряжение, ток и момент двигателя для исследуемого режима;

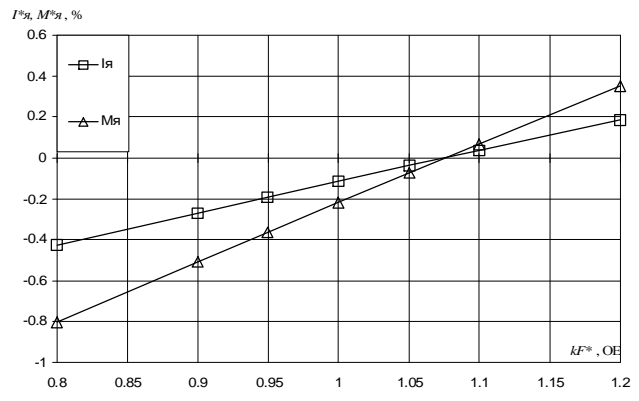
U_0, I_0, M_0 — напряжение, ток и момент двигателя в базовом варианте, т.е. при отсутствии изменения параметров между всеми двигателями.

На основании выражений для тока, момента и напряжений выполним моделирование работы системы электропривода. При выполнении расчетов принято, что суммарная нагрузка двигателей неизменна и равна учетверенной номинальной для одного двигателя.

Результаты моделирования приведены на рис. 3–5 в виде характеристик при изменении параметров одного двигателя, а на рис. 6–8 — характеристики при изменении параметров двух двигателей из четырех.



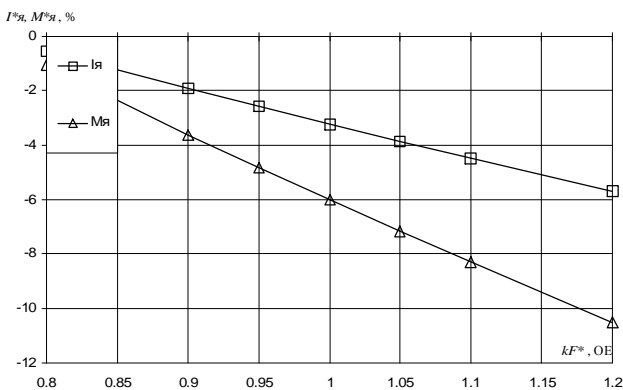
а)



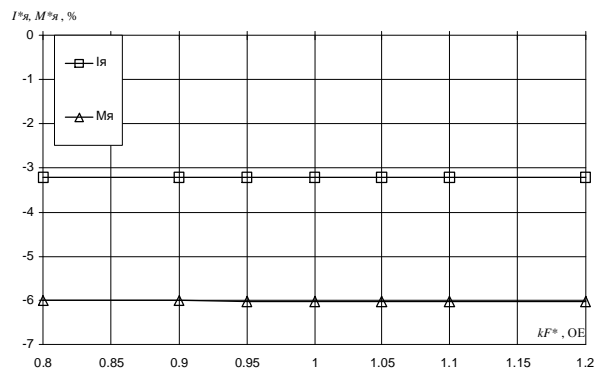
б)

Рисунок 3 – Характеристики при параллельном соединении двигателей ($k\Phi_1 \neq k\Phi_2 = k\Phi_3 = k\Phi_4$):

а) двигатель с измененным параметром; б) двигатели с неизменными параметрами



а)



б)

Рисунок 4 – Характеристики при последовательном соединении двигателей ($k\Phi_1 \neq k\Phi_2 = k\Phi_3 = k\Phi_4$):

а) двигатель с измененным параметром; б) двигатели с неизменными параметрами

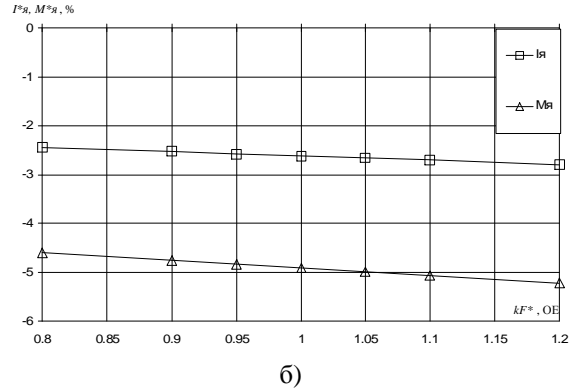
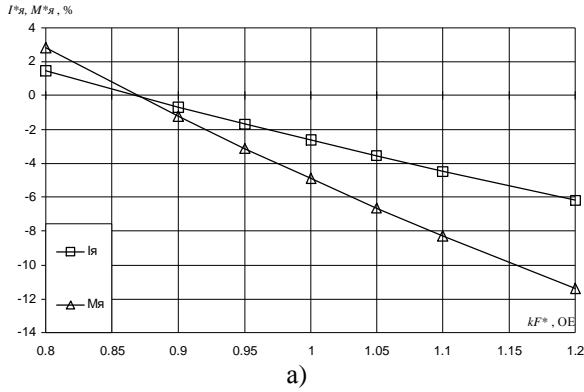


Рисунок 5 – Характеристики при послідовально-паралельному соединенні двигателів ($k\Phi_1 \neq k\Phi_2 = k\Phi_3 = k\Phi_4$):

а) двигателі з зміненими параметрами; б) двигателі з незмінними параметрами

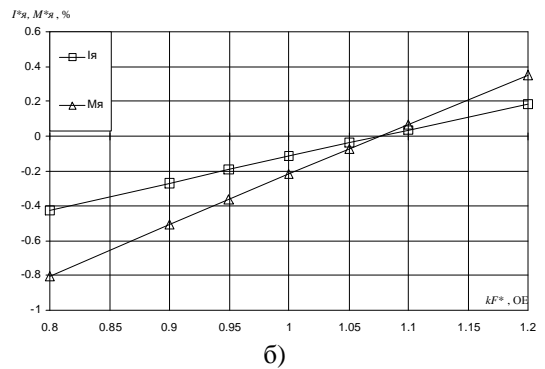
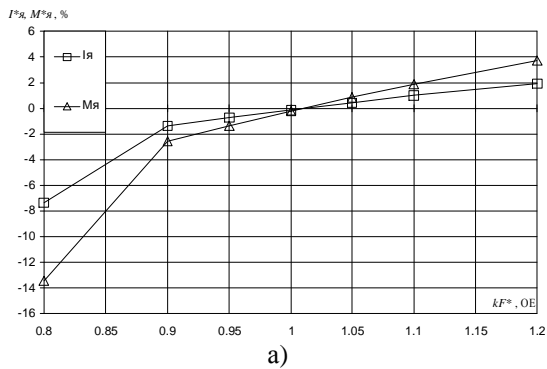


Рисунок 6 – Характеристики при паралельному соединенні двигателів ($k\Phi_1 = k\Phi_2 \neq k\Phi_3 = k\Phi_4$):

а) двигателі з зміненими параметрами; б) двигателі з незмінними параметрами

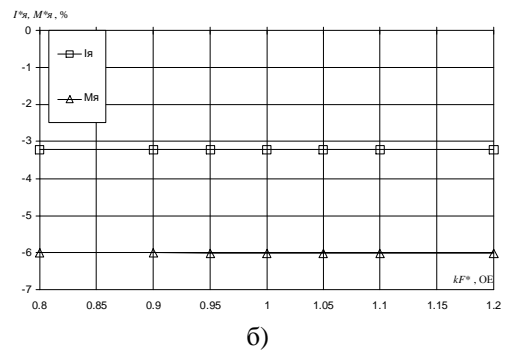
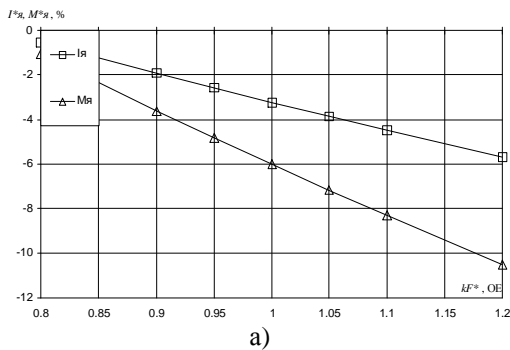


Рисунок 7 – Характеристики при послідовальному соединенні двигателів ($k\Phi_1 = k\Phi_2 \neq k\Phi_3 = k\Phi_4$):

а) двигателі з зміненими параметрами; б) двигателі з незмінними параметрами

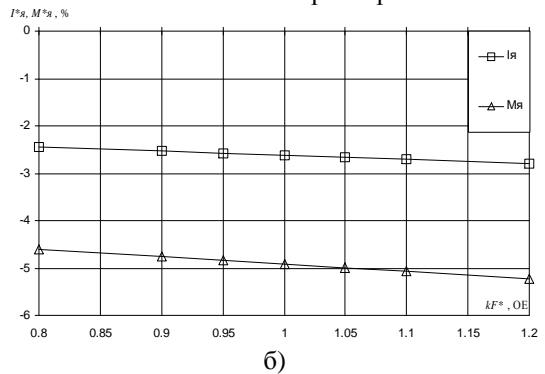
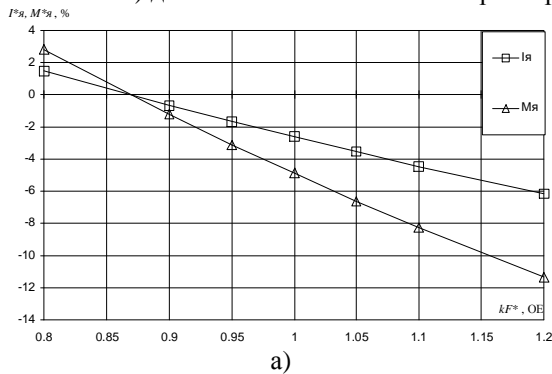


Рисунок 8 – Характеристики при послідовально-паралельному соединенні двигателів

($k\Phi_1 = k\Phi_2 \neq k\Phi_3 = k\Phi_4$):

а) двигателі з зміненими параметрами; б) двигателі з незмінними параметрами

Анализ режимов работы для разных схем включения двигателей при изменении их параметров позволяет сделать следующие выводы.

Отсутствует влияние изменения индуктивности на токи и моменты в статическом режиме, что вполне очевидно.

Напряжение на двигателях равно или меньше номинального на 75% или на 50%, что определяется условиями работы широтно-импульсного преобразователя.

Отклонение скорости от базового режима составляет не более $\pm 5\%$ во всех случаях изменений параметров двигателей. Наибольшее отклонение +5,7% происходит только в случае ослабления потока на 20% при параллельном соединении двигателей.

Обобщенное влияние изменения остальных параметров приведено в табл. 1.

Таблица 1 – Влияние изменения параметров одного из двигателей

Схема включения	Параметр двигателя	Двигатель с измененными параметрами		Остальные двигатели	
		I*, %	M*, %	I*, %	M*, %
Параллельное включение двигателей	R(+20%)	+1	+2	+0,5	+0,5 -1%
	kF(+20%)	-15 +62	-12 +43	-7 +2	+4 -13
Последовательное включение двигателей	R(+20%)	-3,5	-6	-3,5	-6
	kF(+20%)	-6 0	+7,5 -21	-6 0	-10 -1
Последовательно-параллельное включение двигателей	R(+20%)	-2,1 -2,8	-4 -5	-2,1 -2,8	-4 -5
	kF(+20%)	-6 +1,5	+6 -18	-6 +1,5	-11 +3

Как следует из табл. 1, при параллельном соединении двигателей только при изменении коэффициента потока (0,8–1,2) у одного двигателя, существенное изменение характеристик (до -14%...+4%) происходит у двигателя с изменившимся параметром, при изменении остальных параметров (0,8–1,2) изменение характеристик составляет до $\pm 2\%$.

При последовательном, а также последовательно-параллельном, соединении двигателей также существенное влияние на характеристики (до -12%) оказывает изменение потока (0,8–1,2). При изменении остальных параметров (0,8–1,2) изменение характеристик составляет до -6%.

Одновременное изменение параметров у двух двигателей приводит к похожему отклонению характеристик.

Таким образом, наибольшее влияние на характеристики оказывает изменение коэффициента потока, что вполне очевидно.

Выводы.

1. При изменении активного сопротивления якорной цепи существенного влияния на разброс режимов работы ТЭП не наблюдается: двигатели преимущественно недогружены по току и моменту (+2...-6)% вне зависимости от схемы включения двигателей.

2. При изменении коэффициента потока при параллельном включении двигателей в наихудших условиях оказывается двигатель с неизменным коэффициентом потока. Перегрузка по току составит более 1,6.

3. При последовательном включении двигателей двигатели будут недогружены по току на -6%, а по моменту двигатель с измененным коэффициентом будет перегружен до +7,5%.

4. При последовательно-параллельном включении двигателей может быть незначительная перегрузка по току до +1,5% и перегрузка по моменту до +6%.

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