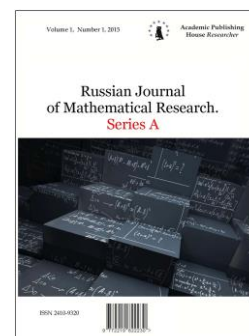


Copyright © 2016 by Academic Publishing House *Researcher*

Published in the Russian Federation
Russian Journal of Mathematical Research. Series A
Has been issued since 2015.
ISSN: 2410-9320
E-ISSN: 2413-7529
Vol. 3, Is. 1, pp. 9-14, 2016

DOI: 10.13187/rjmr.a.2016.3.9
www.ejournal30.com



UDC 621.02.93

The Simulation Results of the Acceleration Underground Car Model 81-714 / 717

¹Veronika O. Ilyanenko
²Dmitriy V. Kolbasinskiy

¹ Siberial Federal University, Russian Federation
Svobodniy prospect 79, Krasnoyarsk city, Krasnoyarskiy Krai 660041
E-mail: v.ilyanenko@yandex.ru

² Sochi State University, Russian Federation
Sovetskaya Str. 26 a, Sochi city, Krasnodar Krai 354000
PhD (technical science), Assistant Professor
E-mail: dvkol@mail.ru

Abstract

This article presents the first results of the simulation of the physical process of movement underground. In the future, the model will be updated and used for non-destructive testing research. The article examines the urgency and necessity of simulation of electromechanical processes in the wagon 81-714/717 during its acceleration. The article presents the power circuit of the car under consideration and the scheme of its control circuits. There's also given a description of the operation of schemes and the processes occurring during acceleration.

The simulation results of acceleration process of the car 81-714/717, i.e. its speed, are represented by authors graphically.

Keywords: mathematical model of the actuator, the Metro, DC motor.

В [1] была обоснована актуальность и необходимость моделирования электромеханических процессов, происходящих в вагоне 81-714/717 при его разгоне.

В [3, 4] представлена силовая цепь рассматриваемого вагона, а также схема его цепей управления. Там же приведено описание работы схем и процессы, происходящие во время разгона. Представим фрагменты схемы силовой цепи вагона 81-714/717, параметры ее элементов и последовательность их изменения за время пуска.

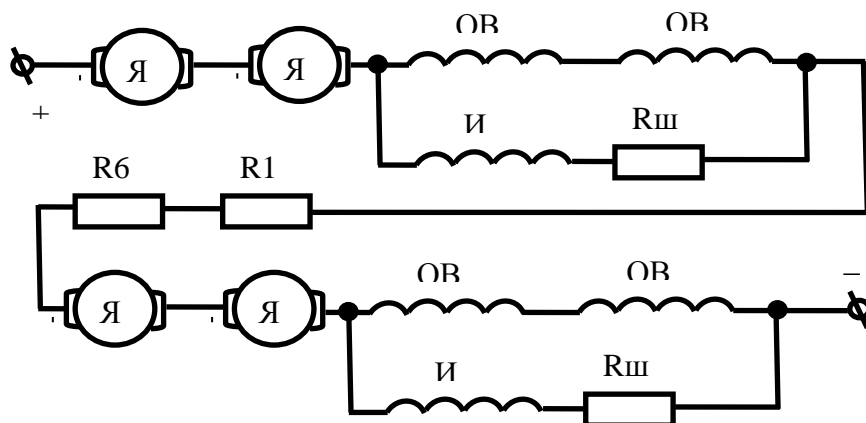


Рис. 1. Схема силовой цепи для группировки С

На первой позиции группового реостатного контроллера все четыре тяговых двигателя включены последовательно (группировка С). Сопротивления пусковых реостатов обеих групп двигателей (R1, R6) равны по 4, 263 Ом, возбуждение тяговых двигателей составляет 28% от полного. Такая цепь описывается системой дифференциальных уравнений (1).

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d\omega_d}{dt} = \frac{F'_p(\omega, I_y)}{M_{пр} \frac{R_k}{\mu_{ред}} + \frac{J}{\mu_{ред} R_k}} \\ \frac{dI_y}{dt} = \frac{U - R_a I_y - \beta c \Phi(I_y) I_y \omega_d}{L_a} \\ F'_p = 4 \cdot \frac{c \Phi(I_y) I_y \eta(I_y) \mu_{ред}}{R_k} - F_{сопр} \end{array} \right. \quad (1)$$

где $M_{пр} = 32 \cdot 10^3 \cdot 1,17$ - приведенная масса вагона;

$R_k = 0,39$ - радиус колеса;

$\mu_{ред} = 5,33$ - передаточное число редуктора;

$J = 297,8$ - коэффициент инерции вращающихся масс;

$I_я$ - ток якорей тяговых двигателей;

$U = 825$ - напряжение контактной сети;

$R_a = 4 \cdot R_d + R_1 + R_6$, здесь $R_d = 0,0973$ - активное сопротивление тягового двигателя,

R_1 - сопротивление пускового реостата первой группы двигателей (изменяется в процесс пуска),

R_6 - сопротивление пускового реостата второй группы двигателей (изменяется в процесс пуска),

$c\Phi(I_я) = (3,3608 \cdot 10^{-6} \cdot I_я^2 + 0,0161 \cdot I_я - 0,5273)$ - магнитный поток тягового двигателя;

β - коэффициент ослабления возбуждения тягового двигателя;

F'_p - результирующая сила тяги;

$F_{сопр} = 32g \times 10^{-3} (1,1 + 0,112 \frac{V}{32g})$ - сила сопротивления движению;

g - ускорение свободного падения;

$\eta(I_я) = (0,001 \cdot I_я^2 + 0,3357 \cdot I_я - 20,4014)$ - КПД тягового двигателя;

$V = \frac{\omega_d \cdot 60}{5,33} \cdot \frac{60 \cdot 0,39}{10^3}$ - скорость движения вагона;

ω_d - угловая скорость вращения тягового двигателя; t - время.

Процесс пуска начинается при следующих начальных условиях:

$V = 0; I_я = 0.$

При подключении схемы (рис.1) к контактной сети ток силовой цепи вырастает до 440 А. Одновременно с этим начинает увеличиваться скорость движения вагона, что вызывает снижение тока. Следует отметить, что время электрических переходных процессов существенно меньше времени механических переходных процессов. Поэтому на отдельных участках скоростной характеристики $V(I_я)$ ток меняется практически мгновенно. При снижении тока до 145 А групповой реостатный контроллер переходит на вторую позицию, на которой двигатели начинают работать при полном возбуждении ($\beta = 1$).

При переходе реостатного контроллера с одной позиции на другую, каждый раз изменяются параметры схемы (рис.1): постепенно снижаются сопротивления реостатов R1 и R6, изменяется возбуждение тяговых двигателей. Это приводит к скачкообразному росту тягового тока и его последующем плавном падении вследствие роста скорости. Подробно этот процесс описан в [6].

Так продолжается до 18-й позиции реостатного контроллера, на которой выполняется переключение схемы с группировки С (рис. 1) на группировку СП (рис. 3), через переходную схему (рис. 2).

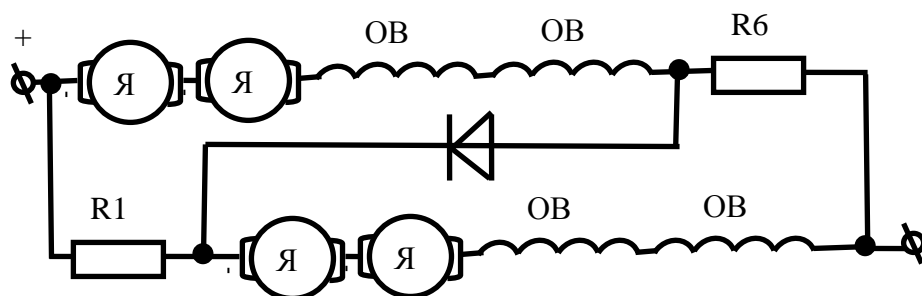


Рис. 2. Переходная схема с группировки С на группировку СП

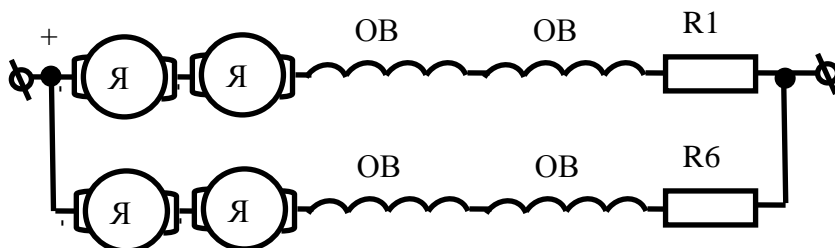


Рис. 3. Схема силовой цепи для группировки СП

Далее, с позиции 17, групповой реостатный контроллер вращается в обратную сторону до 1-й позиции, управляя при этом параметрами схемы (рис. 3). Этот процесс так же подробно описан в [6]. При переходе на каждую позицию осуществляется уменьшение сопротивления пусковых реостатов R1 и R6 и изменяется возбуждение тяговых двигателей.

На первой позиции группового реостатного контроллера и на группировке СП процесс пуска заканчивается и вагон выходит на естественную (безреостатную) характеристику с ослабленным полем двигателей.

Для решения (1) применяется шестистадийный метод типа Рунге-Кутта-Фельберга вида

$$y_{n+1} = y_n + \sum_{i=1}^6 p_i k_i,$$

$$k_1 = hf(y_n), k_2 = hf(y_n + k_1 / 4),$$

$$k_3 = hf\left(y_n + \frac{3}{32}k_1 + \frac{9}{32}k_2\right),$$

$$\begin{aligned}
 k_4 &= \text{hf} \left(y_n + \frac{1932}{2197} k_1 - \frac{7200}{2197} k_2 + \frac{7296}{2197} k_3 \right), \\
 k_5 &= \text{hf} \left(y_n + \frac{439}{216} k_1 - 8k_2 + \frac{3680}{513} k_3 - \frac{845}{4104} k_4 \right), \\
 k_6 &= \text{hf} \left(y_n - \frac{8}{27} k_1 + 2k_2 - \frac{3544}{2565} k_3 + \frac{1859}{4104} k_4 - \frac{11}{40} k_5 \right)
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Результат моделирования процесса разгона вагона 81-714/717, т.е. его скоростная характеристика $V(I_n)$, представлен на рисунке 4.

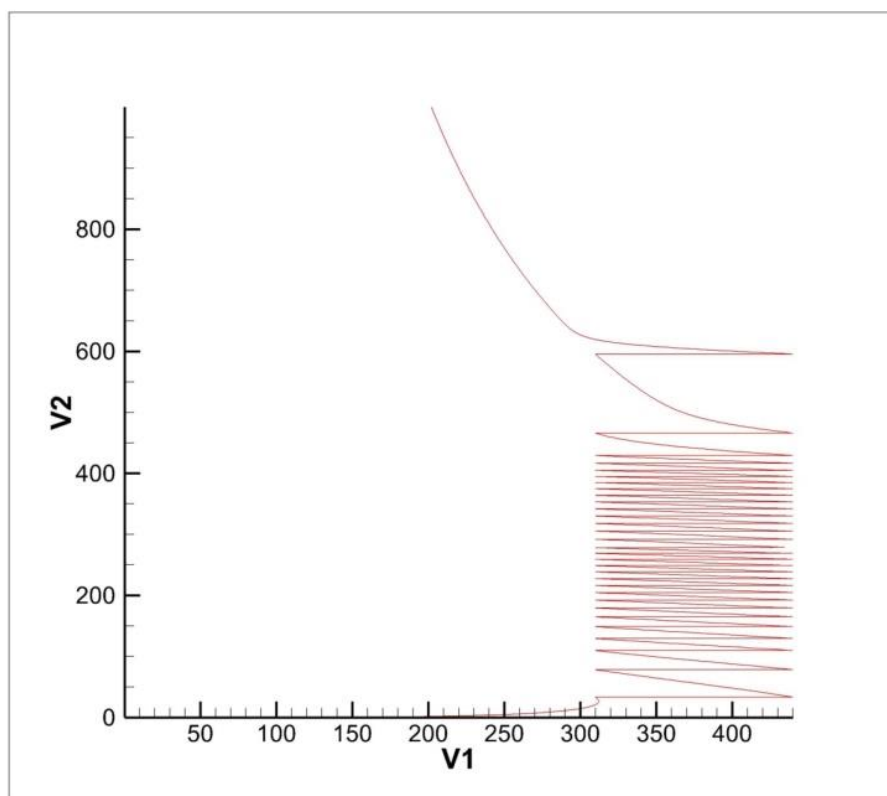


Рис. 4. Результат моделирования процесса разгона вагона типа 81-714/717

Примечания:

1. Ильяненко В.О., Колбасинский Д.В. Аналитическая модель подвижного состава метрополитена / 53-я Международная научная студенческая конференция «Транспорт». Новосибирск: Новосиб. гос. ун-т, 2015. с. 13.
2. Ильяненко В.О., Колбасинский Д.В. Statement of the problem of mathematical modeling of electric rolling motion along the lines of the DC Metro // Modeling of Artificial Intelligence. 2015. №6. С. 59-66.
3. Устройство и ремонт электропоездов метрополитена: учебник для ПТУ / Э.А. Сементовский, А.А. Богданов, В.С. Гусев, Ю.Я. Могильнер; Под ред. Э.А. Сементовского. Москва: Транспорт, 1991. 335 с.
4. Теория электрической тяги / В.Е. Розенфельд, И.П. Исаев, Н.Н. Сидоров, М.И. Озеров; Под ред. И.П. Исаева. Москва: Транспорт, 1995. 294 с.
5. Ефремов, И.С. Теория и расчет электрооборудования подвижного состава городского электрического транспорта: учебник для вузов / Ефремов И.С., Косарев Г.В. Москва: Высшая школа, 1976. 480 с.
6. Колбасинский Д.В. Энергосбережение на городском электрическом транспорте. Saarbrücken, Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co.KG, 2012. 140 p.

7. Вержбицкий В.М. Численные методы, математический анализ и обыкновенные дифференциальные уравнения. М.: Высшая школа, 2001. 382 с.

References:

1. Il'yanenko V.O., Kolbasinskii D.V. Analiticheskaya model' podvizhnogo sostava metropolitena [Analytical model of rolling stock of the metro]. / 53-ya Mezhdunarodnaya nauchnaya studencheskaya konferentsiya «Transport». Novosibirsk: Novosib. gos. un-t, 2015. s. 13.
2. Il'yanenko V.O., Kolbasinskii D.V. Statement of the problem of mathematical modeling of electric rolling motion along the lines of the DC Metro // Modeling of Artificial Intelligence. 2015. №6. S. 59-66.
3. Ustroistvo i remont elektropoezdov metropolitena [Installation and repair of the metro trains]: uchebnyk dlya PTU / E.A. Sementovskii, A.A. Bogdanov, V.S. Gusev, Yu.Ya. Mogil'ner; Pod red. E.A. Sementovskogo. Moskva: Transport, 1991. 335 s.
4. Teoriya elektricheskoi tyagi [The theory of electric traction]. / V.E. Rozenfel'd, I.P. Isaev, N.N. Sidorov, M.I. Ozerov; Pod red. I. P. Isaeva. Moskva: Transport, 1995. 294 s.
5. Efremov, I.S. Teoriya i raschet elektrooborudovaniya podvizhnogo sostava gorodskogo elektricheskogo transporta [Theory and calculation of electric rolling stock of urban electric transport]: uchebnyk dlya vuzov / Efremov I.S., Kosarev G.V. Moskva: Vysshaya shkola, 1976. 480 s.
6. Kolbasinskii D.V. Energoberezheniya gorodskom elektricheskom transporte [Energy saving in urban electric transport]. Saarbrucken, Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co.KG, 2012. 140p.
7. Verzhbitskii V.M. Chislennye metody matematicheskii analiz i obyknovennye differentsial'nye uravneniya [Numerical methods, mathematical analysis and ordinary differential equations]. M.: Vysshaya shkola, 2001, 382 s.

УДК 621.02.93

Результаты моделирования процесса разгона метровагона модели 81-714/717

¹Вероника Олеговна Ильяненко

²Дмитрий Владимирович Колбасинский

¹Сибирский федеральный университет, Российская Федерация
660041 Красноярский край, г. Красноярск, пр. Свободный, 79
E-mail: v.ilyanenko@yandex.ru

²Сочинский государственный университет, Российская Федерация
354000 Краснодарский край, г. Сочи, ул. Советская, 26 а
Кандидат технических наук, доцент

Аннотация. В данной статье представлены первые результаты моделирования физического процесса движения метрополитена. В дальнейшем модель будет уточняться и использоваться для исследований неразрушающего контроля. Обоснована актуальность и необходимость моделирования электромеханических процессов, происходящих в вагоне 81-714/717 при его разгоне. В статье представлена силовая цепь рассматриваемого вагона, а также схема его цепей управления. Там же приведено описание работы схем и процессы, происходящие во время разгона.

Результаты моделирования процесса разгона вагона 81-714/717, т.е. его скоростная характеристика $V(I_d)$, представлены авторами графическим образом.

Ключевые слова: математическая модель электропривода, метрополитен, электропривод постоянного тока.