

УДК 621.313.2:621.317.3

**ИНЖЕНЕРНИ МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ЕКВІВАЛЕНТНОГО СТРУМУ ЕЛЕКТРОДВИГУНА КОМПРЕСОРА ЗА ЧАС ПУСКУ**

Канд. техн. наук Р.В. Краснов

**ИНЖЕНЕРНЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКВИВАЛЕНТНОГО ТОКА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ КОМПРЕССОРА ЗА ВРЕМЯ ПУСКА**

Канд. техн. наук Р.В. Краснов

**ENGINEERING METHODS FOR DETERMINING THE EQUIVALENT CURRENT OF THE ELECTRIC MOTOR OF THE COMPRESSOR DURING START-UP**

Cand. of techn. sciences R. Krasnov

*У статті наведено приклади визначення еквівалентного струму за час пуску електродвигуна компресора двома методами: графічним та з допомогою ЕОМ з відповідним програмним забезпеченням. Значення еквівалентного струму за визначений час (наприклад, час пуску) використовується для оцінки термічного впливу цього струму на ізоляцію електродвигуна.*

**Ключові слова:** еквівалентний струм, електродвигун компресора, нагрівання ізоляції, електропоїзд, постійний струм, пуск.

*В статті приведені приклади визначення еквівалентного струму за час пуску електродвигуна компресора двома методами: графічним та з допомогою ЕОМ з відповідним програмним забезпеченням. Значення еквівалентного струму за визначений час (наприклад, час пуску) використовується для оцінки термічного впливу цього струму на ізоляцію електродвигуна.*

**Ключевые слова:** эквивалентный ток, электродвигатель компрессора, нагрев изоляции, электропоезд, постоянный ток, пуск.

*The article presents examples of the determination of an equivalent current during the start of the compressor motor in two ways: by using the graphical and computer with the appropriate software. Equivalent current value for a certain time (for example, the time of start) is used to estimate the thermal effect of this current on the motor insulation.*

*With the current waveforms of the compressor motor electric DC ER- 1, which is obtained by an experimental during startup, a graphical method to determine the equivalent current. With this method current waveforms using a computer with appropriate software also determined the equivalent current during start-up. When comparing the results obtained shown that the error does not exceed 1 %. This indicates that the computer software is selected correctly and can later be used to facilitate the calculations.*

**Keywords:** equivalent current, electric motor of compressor, heat insulation, electric rolling stock, direct current, launch.

**Вступ.** Дослідження в даній статті відносяться до галузі допоміжних тягових електричних машин постійного струму електрорухомого складу.

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями.** Визначення еквівалентного струму за певний проміжок часу необхідний для оцінки ступеню термічного впливу на ізоляцію електродвигуна.

Існує багато способів по визначенню такого струму, але всі вони є трудомісткими для дослідника.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Даній проблемі присвячені роботи таких вчених, як Чилікін М.Г., Находкін М.Д., Курбасов А.С. [1-3].

**Визначення мети та задачі дослідження.** Метою даної роботи є полегшення процесу дослідження по визначенню

еквівалентного струму з допомогою ЕОМ. Для цього в роботі наведено приклад користування програмним забезпеченням для вирішення вказаної проблеми.

**Основна частина дослідження.** Для досліджень впливу струму на нагрівання ізоляції під час пуску електродвигуна компресора необхідно визначити еквівалентний струм за цей час.

Під еквівалентним (діючим) значенням струму  $I_{\text{екв}}$  слід розуміти значення такого постійного струму, який, проходячи по обмотці якоря двигуна протягом часу пуску, виділить в

ньому таку ж кількість тепла як і реальний струм, що змінюється за нелінійним законом.

Визначити еквівалентний струм за час пуску пропонується двома методами: графічним та з допомогою ЕОМ зі спеціальними прикладними програмами.

**1. Визначення еквівалентного струму під час пуску електродвигуна компресора графічним методом.** За основу для розрахунку приймаємо частину осцилограми струму (точки 1-2-3) при пуску електродвигуна (ЕД) компресора електропоїзда ЭР-1, що приведена на рис. 1 [4-6].

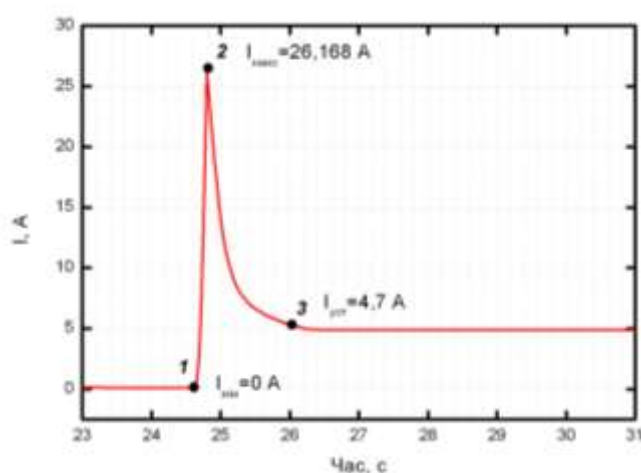


Рис. 1. Осцилограма  $i_{\text{я}}(t)$  при дослідженні пуску ЕД компресора електропоїзда ЭР-1

На рис. 1: точка 1 – момент подачі напруги на електродвигун; точка 2 – момент часу, що відповідає максимальному пусковому струму; точка 3 відповідає часу 1,2 с після моменту подачі напруги. Після точки 3

швидкість зміни струму  $\frac{\Delta I}{\Delta t}$  за той же час 1,2 с

буде значно менше 10 % в порівнянні з попереднім інтервалом і тому вважається, що процес пуску ЕД компресора завершено в точці 3. Для підвищення точності подальшого розрахунку  $I_{\text{екв}}$  графічним методом необхідно вказану частину осцилограми збільшити у масштабі і розбити криву струму на достатню кількість однакових інтервалів. Після цього по отриманим точкам побудувати залежність  $I^2 = f(t)$  і спланіметрувати її (знайти

прямокутник з основою 1,2 с та висотою  $I_{\text{екв}}^2$ , площа якого дорівнює площі, обмеженої кривою  $I^2 = f(t)$  від 0 до 1,2 с.), отримавши при цьому значення  $I_{\text{екв}}^2$  (рис. 2)) [1, 7].

Пропонується наступний порядок визначення  $I_{\text{екв}}^2$ :

1) Розбиваємо час пуску  $t_{\text{п}}$  на  $n$  однакових інтервалів.

2) По кривій  $I_{\text{я}}^2 = f(t)$  знаходимо відповідні значення струму, як середні значення на кожному інтервалі часу.

3) Сумарна площа  $S_{\text{е}}$ , обмежена кривою  $I_{\text{я}}^2 = f(t)$  та віссю абсцис при  $t_{\text{п}} = 1,2$  с:

$$S_e = \sum_0^n \frac{t_{\Pi}}{n} \times \frac{I_n^2 + I_{n+1}^2}{2}. \quad (1)$$

$$I_{\text{екв}}^2 = \frac{S_e}{t_{\Pi}} = \frac{1}{t_{\Pi}} \left( \sum_0^n \frac{t_{\Pi}}{n} \times \frac{I_n^2 + I_{n+1}^2}{2} \right) = \sum_0^n \frac{1}{n} \times \frac{I_n^2 + I_{n+1}^2}{2}, \quad (2)$$

де  $n=0...24$  – запропонована кількість однакових інтервалів часу, на які поділено час пуску  $t_{\Pi}=1,2$  с. Досвід показує, що при  $n=24$  отримуємо раціональну кількість інтервалів при достатній точності визначення  $I_{\text{екв}}^2$ ;

$I_n^2, I_{n+1}^2$  – відповідно миттєві значення квадратів струму на початку і в кінці кожного інтервалу часу пуску;

$\frac{I_n^2 + I_{n+1}^2}{2}$  – середнє значення струму  $I_{\text{я}}^2$  на  $n$ -му інтервалі пуску.

Кількість інтервалів часу  $n=24$  визначено наступним чином. Пропонується розділити час  $0,1$  с – від  $t=0$  до  $t=0,1$  с (точка А – максимум кривої струму на рис. 2) на два інтервали. Отримали тривалість кожного інтервалу  $\Delta t = \frac{0,1}{2} = 0,05$  с. Тоді кількість однакових інтервалів протягом часу  $t_{\Pi}=1,2$  с дорівнює  $\frac{1,2}{0,05} = 24$ .

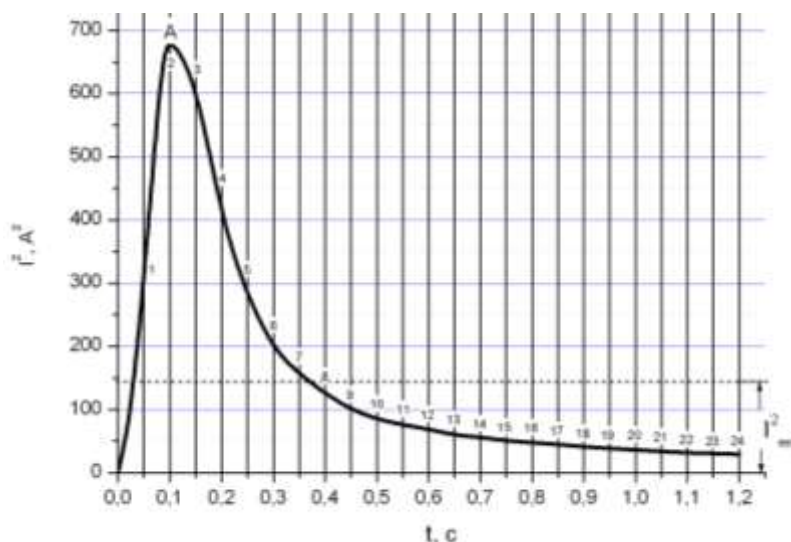


Рис. 2. Крива струму  $I_{\text{я}}^2(t)$  для визначення діючого значення струму  $I_{\text{екв}}$  за період пуску  $1,2$  с

Наведемо приклад розрахунку згідно з рис. 2:

$$S_{0-1} = \left( \frac{0 + I_1^2}{2} \right) \cdot 0,05 = \left( \frac{256,6}{2} \right) \cdot 0,05 = 6,42 \text{ A}^2 \text{ c};$$

$$S_{2-3} = \left( \frac{I_2^2 + I_3^2}{2} \right) \cdot 0,05 = \left( \frac{681,2 + 590,5}{2} \right) \cdot 0,05 = 31,8 \text{ A}^2\text{c};$$

$$S_{3-4} = \left( \frac{I_3^2 + I_4^2}{2} \right) \cdot 0,05 = \left( \frac{590,5 + 410,9}{2} \right) \cdot 0,05 = 25,04 \text{ A}^2\text{c}.$$

Аналогічно проведемо розрахунок для всіх інших інтервалів, а отримані результати зведемо в табл. 1.

Таблиця 1

$S_{4-5} = 17,22 \text{ A}^2\text{c}$	$S_{5-6} = 11,89 \text{ A}^2\text{c}$	$S_{6-7} = 8,85 \text{ A}^2\text{c}$	$S_{7-8} = 7,02 \text{ A}^2\text{c}$	$S_{8-9} = 5,65 \text{ A}^2\text{c}$
$S_{9-10} = 4,68 \text{ A}^2\text{c}$	$S_{10-11} = 4,04 \text{ A}^2\text{c}$	$S_{11-12} = 3,59 \text{ A}^2\text{c}$	$S_{12-13} = 3,2 \text{ A}^2\text{c}$	$S_{13-14} = 2,9 \text{ A}^2\text{c}$
$S_{14-15} = 2,68 \text{ A}^2\text{c}$	$S_{15-16} = 2,49 \text{ A}^2\text{c}$	$S_{16-17} = 2,32 \text{ A}^2\text{c}$	$S_{17-18} = 2,14 \text{ A}^2\text{c}$	$S_{18-19} = 1,99 \text{ A}^2\text{c}$
$S_{19-20} = 1,86 \text{ A}^2\text{c}$	$S_{20-21} = 1,73 \text{ A}^2\text{c}$	$S_{21-22} = 1,62 \text{ A}^2\text{c}$	$S_{22-23} = 1,54 \text{ A}^2\text{c}$	$S_{23-24} = 1,47 \text{ A}^2\text{c}$

$$\begin{aligned} \sum S_{1-24} &= 6,42 + 23,45 + 31,8 + 25,04 + 17,22 + 11,89 + 8,85 + 7,02 + 5,65 + \\ &+ 4,68 + 4,04 + 3,59 + 3,2 + 2,9 + 2,68 + 2,49 + 2,32 + 2,14 + 1,99 + 1,86 + 1,73 + \\ &+ 1,62 + 1,54 + 1,47 = 175,59 \end{aligned}$$

$$I_{\text{екв}}^2 = \frac{175,59 \text{ A}^2\text{c}}{1,2 \text{ c}} = 146,3 \text{ A}^2; \quad I_{\text{екв}} = \sqrt{146,3} = 12,1 \text{ A}.$$

## 2. Визначення еквівалентного струму під час пуску електродвигуна компресора за допомогою ЕОМ

Визначення еквівалентного струму графічним методом є трудомістким процесом. Тому пропонується використати ЕОМ з відповідним програмним забезпеченням. Пропонується програма Origin 6.1.

Побудувавши за допомогою програми Origin 6.1 криву  $I_{\text{я}}^2(t)$  згідно з осцилограмою (рис. 1), проводиться інтегрування (в меню Analysis вибираємо Calculs, а потім Integrate) і отримуємо наступні результати [8]:

```
Integration:
i = 0 --> 676 A
x = 0 --> 1,2 c
Area (Площа)
-----
180,13 A2c
```

В даному випадку площа фігури, обмеженої кривою  $I_{\text{я}}^2(t)$  на інтервалі часу 0-1,2 с складає 180,13 A<sup>2</sup>c. Для отримання

еквівалентного струму  $I_{\text{екв}}$  необхідно цю площу розділити на 1,2 с і з отриманої величини добути квадратний корінь. Тоді еквівалентний струм відповідно до осцилограми рис. 1 та побудованої кривої струму за допомогою програми Origin 6.1 рис. 2

$$\text{становить } I_{\text{екв}} = \sqrt{\frac{180,13}{1,2}} = 12,25 \text{ A}.$$

Якщо порівняти діюче значення струму, отриманого графічним способом з тим, що отримано за допомогою ЕОМ, можемо зробити наступний висновок – величина розбіжності складає  $(12,25 - 12,1) / 12,25 \times 100 \% = 1,2 \%$ , що підтверджує правильність вибору програмного забезпечення для ЕОМ.

**Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку.** Для реального застосування у теперішній час (наприклад для визначення нагрівання ізоляції під час пуску) рекомендується визначати  $I_{\text{екв}}$  за допомогою ЕОМ, як більш точний і менш трудомісткий метод.

### Список використаних джерел

1. Чиликин, М.Г. Общий курс электропривода [Текст] / М.Г. Чиликин. – М.: Энергия, 1971. – 432 с.
2. Находкин, М.Д. Электрические машины постоянного тока [Текст] / М.Д. Находкин. – М.: Транспорт, 1960. – 325 с.
3. Курбасов, А.С. Повышение работоспособности тяговых электродвигателей [Текст] / А.С. Курбасов. – М.: Транспорт, 1977. – 275 с.
4. Краснов, Р.В. Підвищення надійності електродвигунів компресорів електропоїздів постійного струму: дис... канд. техн. наук: 05.22.09 [Текст] / Р.В. Краснов. – Дніпропетровськ: 2012. – 220 с.
5. Краснов, Р.В. Оцінка впливу перегріву ізоляції електродвигуна компресора електропоїзда постійного струму ЕР-1, ЕР-2 при неномінальних режимах роботи на термін її служби [Текст] / Р.В. Краснов // Гірнична електромеханіка та автоматика: наук.-техн. зб. – 2011.– Вип. 86. – С. 167-171.
6. Цукало, П.В. Электropоезда ЭР2 и ЭР2Р [Текст] / П.В. Цукало, Н.Г. Ерошкин. – М.: «Транспорт», 1986. – 359 с.
7. Теоретичні основи електротехніки. У 3-х т. [Текст]: підручник для вузів. Т.1 / М.О. Костін, О.Г. Шейкіна. – Дніпропетровськ: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2006. – 336 с.
8. Исакова, О.П. Обработка и визуализация данных физических экспериментов с помощью пакета Origin Учебно-методическое пособие. [Текст] / О. П. Исакова, Ю. Ю. Тарасевич. – Астрахань: – 2007. – 67 с.

Рецензент д-р техн. наук, професор М.М. Бабаєв

---

Краснов Роман Володимирович, канд. техн. наук, б/з, кафедра електротехніки та електромеханіки, ДНУЗТ. Тел. (056) 373-15-47, E-mail: krasnov\_rv@i.ua

Krasnov R.V., cand. of techn. sciences, associate professor department of electrical engineering and electromechanics Dnipropetrovsk national university of railway transport named after academician V. Lazaryan, Tel.: (056) 373-15-47, E-mail: krasnov\_rv@i.ua