

УДК 621.313.2:621.317.3

ИНЖЕНЕРНЫЕ МЕТОДЫ ВЪЗНАЧЕННЯ ЕКВІВАЛЕНТНОГО СТРУМУ ЕЛЕКТРОДВИГУНА КОМПРЕССОРА 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 статье приведены примеры определения эквивалентного тока за время пуска электродвигателя компрессора двумя методами: графическим и с помощью ЭВМ с соответствующим программным обеспечением. Значение эквивалентного тока за определенное время (например, время пуска) используется для оценки термического влияния этого тока на изоляцию электродвигателя.

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 Чиликін 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.

Визначати 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 ЕР-1, що приведена на рис. 1 [4-6].

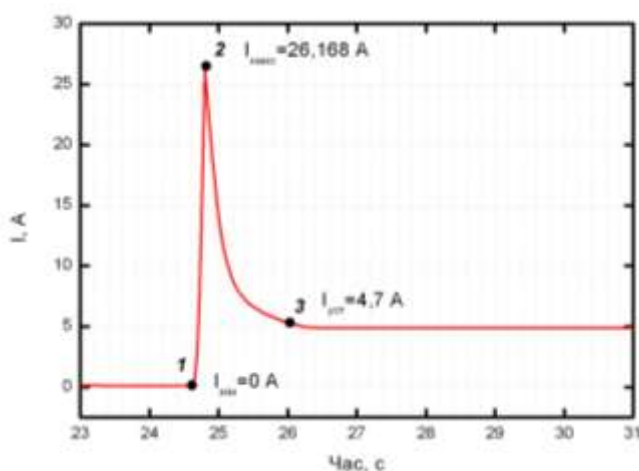


Рис. 1. Осцилограма $i_{\text{я}}(t)$ при дослідженні пуску ЕД компресора електропоїзда ЕР-1

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:

$$S_e = \sum_{n=0}^n \frac{t_{\pi}}{n} \times \frac{I_n^2 + I_{n+1}^2}{2}. \quad (1)$$

$$I_{\text{екв}}^2 = \frac{S_e}{t_{\pi}} = \frac{1}{t_{\pi}} \left(\sum_{n=0}^n \frac{t_{\pi}}{n} \times \frac{I_n^2 + I_{n+1}^2}{2} \right) = \sum_{n=0}^n \frac{1}{n} \times \frac{I_n^2 + I_{n+1}^2}{2}, \quad (2)$$

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 $\frac{1,2}{0,05} = 24$.

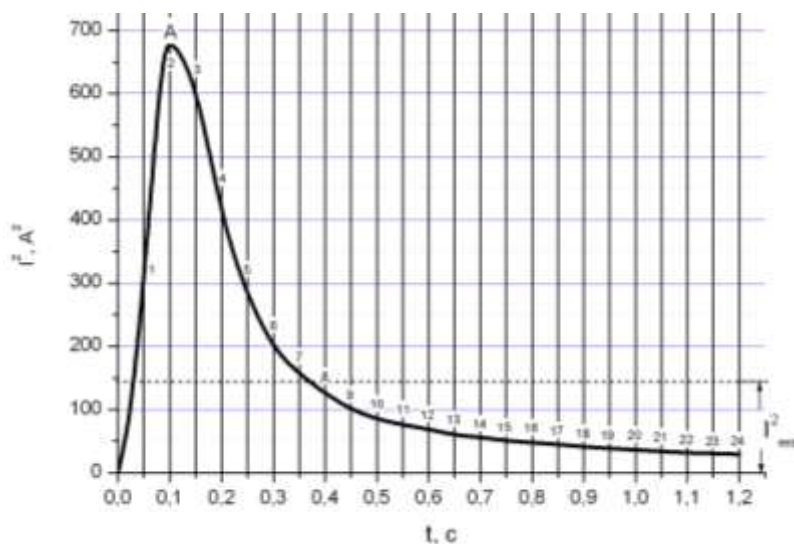


Рис. 2. Крива струму $I_{\text{я}}^2(t)$ для визначення діючого значення струму $I_{\text{екв}}$ за період пуску 1,2 с

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

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

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

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

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 c складає 180,13 A²c. Для отримання

еквівалентного струму $I_{\text{екв}}$ необхідно цю площу розділити на 1,2 c 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 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 // Гірничі 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