

Научная статья

Original article

УДК 681.2



**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК  
ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ**

**DETERMINATION OF OPTIMAL CHARACTERISTICS OF ELECTRIC  
MOTORS**

**Егоров Алексей Васильевич**, доктор технических наук, профессор, доцент кафедры «Транспортно-технологических машин и оборудования», ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», Россия, г. Йошкар-Ола

**Клейменов Сергей Владиславович**, аспирант, 4 курс, факультет «Транспортно-технологических машин и оборудования», ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», Россия, г. Йошкар-Ола

**Egorov Alexey Vasilievich**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Associate Professor of the Department of "Transport-technological machines and equipment", FGBOU VO " Volga State University of Technology", Russia, Yoshkar-Ola

**Kleimenov Sergey Vladislavovich**, post-graduate student, 4th year, faculty of "Transport-technological machines and equipment", FGBOU VO " Volga State University of Technology", Russia, Yoshkar-Ola

**Аннотация**

Электродвигатели играют ключевую роль в различных отраслях промышленности – от автомобилестроения и производства до

## Международный журнал прикладных наук и технологий "Integral"

возобновляемых источников энергии и бытовой техники. Поскольку спрос на энергоэффективные и высокопроизводительные электродвигатели продолжает расти, определение оптимальных характеристик этих машин становится настоящей необходимостью. В данной работе представлено комплексное исследование, направленное на выяснение ключевых параметров и признаков, составляющих оптимальные характеристики электродвигателей.

### **S u m m a r y**

Electric motors play a pivotal role in various industries, from automotive and manufacturing to renewable energy and consumer appliances. As the demand for energy-efficient and high-performance electric motors continues to grow, defining the optimal characteristics of these machines becomes imperative. This abstract outline a comprehensive study aimed at elucidating the key parameters and attributes that constitute the optimal characteristics of electric motors.

**Ключевые слова:** *электродвигатели, промышленное применение, автомобильная промышленность, производственный сектор, возобновляемая энергетика, потребительские приборы, энергоэффективность.*

**Keywords:** *electric motors, industrial applications, automotive, manufacturing sector, renewable energy, consumer appliances, energy efficiency.*

В данной работе описаны некоторые параметры, которые необходимо рассчитать для подбора оптимального двигателя для конкретного применения.

[1, с. 24]

- Прежде всего, необходимо определить некоторые особенности конструкции, такие как приводной механизм, габаритные размеры, перемещаемые расстояния и период позиционирования.

- Подтвердить требуемые характеристики приводной системы и оборудования (точность остановки, фиксация положения, диапазон скоростей, рабочее напряжение, разрешение, долговечность и т.д.).

## Международный журнал прикладных наук и технологий "Integral"

- Рассчитайте значения нагрузочного момента, инерции нагрузки, скорости и т.д. на валу привода механизма. Расчет скорости, момента нагрузки и инерции нагрузки для различных механизмов см. на стр. 3.

- Выберите тип двигателя: двигатель переменного тока, бесщеточный двигатель постоянного тока или шаговый двигатель, исходя из требуемых технических характеристик.

- Окончательно определитесь с двигателем после того, как убедитесь, что технические характеристики выбранного двигателя/редуктора удовлетворяют всем требованиям (механическая прочность, время разгона, момент разгона и т.д.).

Далее подробно описаны основные моменты процедуры выбора, такие как определение профиля движения, расчет требуемого момента и подтверждение выбранного двигателя.

### **Профили движения**

Существует 2 основных профиля движения.

Один из них — это старт/стоп, а другой - ускорение/замедление.

Наиболее распространенным является режим ускорения/замедления.

При малой инерционности нагрузки можно использовать режим "старт/стоп".

### **Поиск числа рабочих импульсов А**

Число рабочих импульсов выражается как количество импульсных сигналов, которые в сумме составляют угол, на который должен переместиться двигатель, чтобы совершить работу из точки А в точку В. [2, с. 340]

$$\begin{aligned} \text{Рабочий импульс (А)} &= \\ \text{(импульс)} &= \frac{\text{Расстояние за одно движение}}{\text{Расстояние за один оборот вала}} \times \\ &\times \frac{\text{Кол-во импульсов,}}{\text{необходимых для 1 оборота двигателя}} = \frac{l}{l_{rev}} \times \frac{360^\circ}{\theta_s} \end{aligned}$$

Где  $\theta s$  – угол шага

### **Определение скорости рабочих импульсов $F_2$ [Гц]**

Скорость рабочих импульсов можно определить по количеству рабочих импульсов, периоду позиционирования и периоду ускорения/замедления. [3, с. 100]

#### **Для режима ускорения/замедления**

Ускорение/замедление — это метод работы, при котором рабочие импульсы двигателя, используемого в средне- или высокоскоростной области, постепенно изменяются. [4, с. 440] Он определяется по приведенному ниже уравнению. Обычно период разгона (замедления) ( $t_1$ ) устанавливается равным примерно 25% от периодов позиционирования. При плавном изменении скорости момент разгона может быть меньше, чем при работе в режиме "старт-стоп".

Если двигатель работает по такой схеме, то период ускорения/замедления необходимо рассчитывать с учетом периода позиционирования.

#### **Ускорение/замедление**

Рабочий импульс (A) =  
(скорость  $f_2$ ) [Гц]

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{Количество рабочих импульсов} - \text{Частота запуска импульсов [Гц]} \times \text{Период ускорения (замедления) [с]}}{\text{Период позиционирования [с]} - \text{Период ускорения (замедления) [с]}} = \\ &= \frac{A - f_1 \times t_1}{t_0 - t_1} \end{aligned}$$

#### **Для режима "пуск-стоп"**

"Пуск-стоп" — это метод работы, при котором рабочая импульсная скорость двигателя, используемого в низкоскоростной области, внезапно увеличивается без периода разгона. Она определяется по следующему

уравнению. Поскольку требуется быстрое изменение скорости, момент разгона очень велик. [5, с. 120]

$$\begin{aligned} \text{Рабочий импульс (A)} &= \frac{\text{Количество рабочих импульсов [импульсов]} \\ (\text{скорость } f_2) \text{ [Гц]} &= \frac{\text{Период позиционирования [с]} \\ &= \frac{A}{t_0} \end{aligned}$$

### Расчет скорости ускорения/замедления $T_R$

$$\begin{aligned} \text{Скорость ускорения/замедления} &= \\ T_R \text{ [мс/кГц]} &= \\ &= \frac{\text{Период ускорения (замедления)[мс]} \\ \text{Скорость} &= \frac{t_1}{f_2 - f_1} \\ \text{рабочего импульса [Гц]} - \text{пусковых импульсов} & \text{ [Гц]} \end{aligned}$$

### Расчет рабочей скорости по скорости рабочего импульса

$$\begin{aligned} \text{Рабочая скорость} &= \text{Частота рабочих импульсов} \times \frac{\text{Угол сдвига}}{360^\circ} \times 60 \\ \text{[об/мин]} &= \text{[Гц]} \end{aligned}$$

### Расчет момента ускорения $T_a$

#### 1. Для режима ускорения/замедления

$$\begin{aligned} \text{Момент ускорения (Ta)[унц-дюйм]} &= \\ &= \left( \text{Инерция ротора} + \text{Суммарная инерция} \right) \times \frac{\pi \times \text{Угол поворота } [^\circ]}{180^\circ} \times \\ &\times \frac{\text{Скорость рабочих импульсов [Гц]} - \text{Скорость пусковых импульсов [Гц]} \\ &\quad \text{Период ускорения (замедления)[с]} \\ &== (J_0 + J_L) \times \frac{\pi \cdot \theta s}{180^\circ} \times \frac{f_2 - f_1}{t_1} \end{aligned}$$

#### 2. Для работы в режиме старт-стоп

Для работы в режиме ускорения/замедления

$$\begin{aligned} \text{Момент ускорения } (T_a) [\text{унц-дюйм}] &= \\ &= \left( \begin{array}{c} \text{Инерция ротора} \\ [\text{унц-дюйм}^2] \end{array} + \begin{array}{c} \text{Полная инерция} \\ [\text{унц-дюйм}^2] \end{array} \right) \times \\ &\times \frac{\pi \times \text{Угол поворота } [^\circ] \times (\text{Раб. скорость импульсов})^2 [\text{Гц}]}{180^\circ \cdot \text{коэффициент}} = \\ &= (J_0 + J_L) \times \frac{\pi \cdot \theta_s \cdot f_2^2}{180^\circ \cdot n}, \end{aligned}$$

Где  $n: 3.6^\circ / \theta_s$

### Расчет необходимого крутящего момента $T_M$

$$\begin{aligned} \text{Требуемый крутящий момент } T_M &= \\ [\text{унц-дюйм}] &= \\ &= \left( \begin{array}{c} \text{Крутящий момент} \\ [\text{унц-дюйм}] \end{array} + \begin{array}{c} \text{Момент ускорения} \\ [\text{унц-дюйм}] \end{array} \right) \times \\ &\times \text{Коэффициент безопасности} = (T_L + T_a) \times Sf \end{aligned}$$

В конечном итоге данное исследование призвано обеспечить комплексную основу для определения оптимальных характеристик электродвигателей, что позволит инженерам, конструкторам и производителям принимать обоснованные решения при выборе и проектировании электродвигателей для различных применений. Оптимизируя характеристики электродвигателей, мы сможем внести свой вклад в создание более устойчивого и энергоэффективного будущего, способствуя инновациям и технологическому прогрессу в различных отраслях. [6, с. 165]

### Литература

1. Анненков Е. А. Определение оптимальных параметров электродвигателя в разомкнутой системе электродвигатель - механизм // Вестник науки и образования. 2017. № 1 (25). С. 24-27.
2. Авербух М., Локшин Е. Оценка параметров эквивалентной схемы параметров эквивалентной схемы асинхронных двигателей путем лабораторных испытаний. // Машины. 2021. № 9, С. 340.

3. Васильев Д. А., Пантелеева Л. А., Покоев П. Н., Носков В. А. Энергоэффективное управление асинхронным электродвигателем // Вестник НГИЭИ. 2019. №4 (95). С. 100-115.
4. Башарин, А. В. Примеры расчетов автоматизированного электропривода // Энергия. 1971. – 440 с.
5. Чернышев, А. Ю. Проектирование электрических приводов учебно-методическое пособие // ТПУ, 2005. – 120 с.
6. Качин, С. И. Автоматизированный электропривод: учебно-методическое пособие // ТПУ. 2010. – 165 с.

#### Literature

1. Annenkov E. A. Determination of the optimal parameters of the electric motor in the open loop system electric motor - mechanism // Vestnik nauki i obrazovanie. 2017. № 1 (25). pp. 24-27.
2. Averbukh M., Lokshin E. Estimation of the parameters of the equivalent circuit parameters of the equivalent circuit of induction motors by laboratory tests. // Machines. 2021. № 9, pp. 340.
3. Vasiliev D. A., Panteleeva L. A., Pokoev P. N. N., Noskov V. A. Energy-efficient control of the asynchronous electric motor // Vestnik NSTEI. 2019. №4 (95). pp. 100-115.
4. Basharin, A. V. Examples of calculations of the automated electric drive // Energia. 1971. pp/ 440.
5. Chernyshev, A. Yu. Designing of the electric drive's textbook // TPU, 2005. pp. 120.
6. Kachin, S. I. Automated electric drive: textbook // TPU. 2010. - 165 с.

© Егоров А.В., Клейменов С.В., 2023 *Международный журнал прикладных наук и технологий "Integral" №5/2023.*

**Для цитирования:** Егоров А.В., Клейменов С.В. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ// Международный журнал прикладных наук и технологий "Integral" №5/2023.