

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

Научная статья

УДК 62-57

EDN PILJKZ

doi 10.34216/2587-6147-2022-3-57-39-41

Светлана Васильевна Букина¹

Татьяна Александровна Ситникова²

^{1,2} Костромской государственной университет, г. Кострома, Россия

¹ tmmbukina@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2137-7304>

² tatoshic27@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9859-4788>

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УСЛОВИЙ ОПТИМАЛЬНОГО ПУСКА МАШИННОГО АГРЕГАТА

Аннотация. В статье приводится вывод аналитических зависимостей, характеризующих условия оптимального по потерям энергии в асинхронном электродвигателе пуска машинного агрегата, оснащенного звеном регулируемого скольжения. Показано, что в случае использования в кинематической цепи привода звеньев регулируемого скольжения и при значительной инерционности ведомых звеньев целесообразно выдерживать условия оптимального по потерям энергии в электродвигателе пуска машинного агрегата. Для выполнения этих условий необходимо на втором этапе пуска машинного агрегата поддерживать скоростной режим асинхронного электродвигателя, при котором потери энергии на его нагрев, будут минимальны. Учет всех факторов, влияющих на движение звеньев регулируемого скольжения, позволит снизить напряженность процесса пуска машинного агрегата.

Ключевые слова: машинный агрегат, пуск, потери энергии, асинхронный двигатель, критическое скольжение, крутящий момент, звено регулируемого скольжения

Для цитирования: Букина С. В., Ситникова Т. А. К вопросу определения условий оптимального пуска машинного агрегата // Технологии и качество. 2022. № 3(57). С. 39–41. <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2022-3-57-39-41>.

Original article

Svetlana V. Bukina¹

Tatiana A. Sitnikova²

^{1,2} Kostroma State University, Kostroma, Russia

ON THE ISSUE OF DETERMINING THE CONDITIONS FOR OPTIMAL START-UP OF THE MACHINE UNIT

Abstract. The article presents the conclusion of analytical dependences characterising the conditions of optimal energy loss in an asynchronous electric motor for starting a machine unit equipped with an adjustable sliding link. It is shown that in the case of using adjustable sliding links in the kinematic drive chain and with significant inertia of the driven links, it is advisable to withstand the conditions of optimal start-up of the machine unit in terms of energy losses in the electric motor. To fulfill these conditions, it is necessary to maintain the high-speed mode of the asynchronous electric motor at the second stage of starting the machine unit, in which the energy losses in the asynchronous motor, on which its heating depends, will be minimal. Taking into account all factors affecting the movement of the adjustable sliding links will reduce the intensity of the machine unit start-up process.

Keywords: machine unit, start-up, energy loss, asynchronous motor, critical slip, torque, adjustable sliding link

© Букина С. В., Ситникова Т. А., 2022

For citation: Bukina S. V., Sitnikova T. A. On the issue of determining the conditions for optimal start-up of the machine unit. *Technologies & Quality*. 2022. No 3(57). P. 39–41. (In Russ.) <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2022-3-57-39-41>.

Определение условий оптимального пуска машинного агрегата с точки зрения потерь энергии в асинхронном электродвигателе имеет важное техническое значение как при создании, так и исследовании новых машин. Динамические эффекты резко проявляются во время переходных режимов – разгона, выбега и требуют их учета при создании машины. Динамический анализ и динамический синтез машинного агрегата взаимосвязаны между собой. Например, некоторые методы динамического анализа машинного агрегата с учетом статической характеристики электродвигателя и неравномерности хода представлены в работах [1–3].

Оптимальный по потерям энергии в процессе цикла режим работы электродвигателя имеет место при пуске машинного агрегата в два этапа. Сначала разгон двигателя до номинальной скорости, а затем приведение в движение ведомого звена при номинальной скорости двигателя и номинальном моменте на его валу [4].

В работе [5] было показано, что для оптимального по быстрдействию пуска машинного агрегата необходимо использовать максимально возможную мощность и найти величину скольжения S^* , при котором реализуется наибольшая мощность асинхронного электродвигателя:

$$S^* = S_k(1 - S_k), \quad (1)$$

где S_k – критическое скольжение асинхронного электродвигателя.

В случае использования в кинематической цепи привода звеньев регулируемого скольжения (гидравлических муфт или электромагнитных порошковых муфт) и при значительной инерционности ведомых звеньев целесообразно выдерживать условия оптимального по потерям энергии в электродвигателе пуска машинного агрегата.

При этом процесс пуска разбивается на следующие три этапа:

1) приведение в движение двигателя вхолостую до скорости, при которой обеспечивается разгон оптимальный по нагреву двигателя;

2) включается звено регулируемого скольжения, обеспечивающее разгон ведомого звена до скорости двигателя при неизменной скорости последнего и моменте на его валу;

3) совместный разгон двигателя и ведомого звена до номинальной скорости.

Потери энергии в асинхронном двигателе, от которых зависит его нагрев, определяются величиной произведения i^2t , где i – ток в двигателе, t – продолжительность второго этапа запуска.

Для определения скорости режима двигателя на втором этапе пуска необходимо найти на устойчивой ветви его механической характеристики (рис.) скорость или соответствующее ей скольжение S_2 , при котором произведение i^2t минимально.

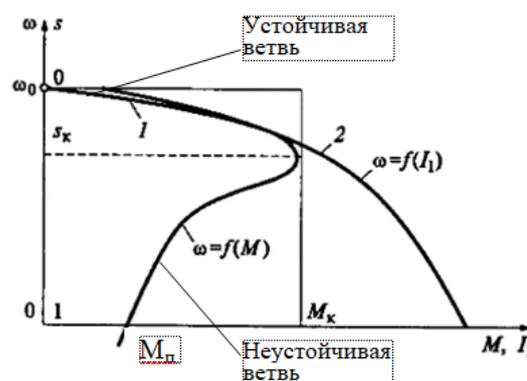


Рис. Примерные механическая (1) и электромеханическая (2) характеристики асинхронного электродвигателя

Продолжительность разгона ведомого звена от состояния покоя до скорости двигателя при постоянном моменте сопротивления M_c , равном номинальному моменту двигателя $M_{ном}$ и приложенном к ведомому звену, будет

$$t = \frac{J\omega_0(1 - S_2)}{M - M_c}, \quad (2)$$

где J – момент инерции ведомого звена;

ω_0 – синхронная скорость электродвигателя, $\omega_0 = \text{const}$;

M – крутящий момент на валу электродвигателя.

Так как ток в двигателе и крутящий момент на его валу связаны соотношением $k^2t = MS_2$, где можно принять коэффициент мощности $k = \text{const}$, то, выражая M по упрощенной формуле Клосса [6], можно записать следующую зависимость $i^2t = f(S_2)$:

$$i^2t = \frac{2M_k S_k J \omega_0 (S_2^2 - S_k^2)}{k(2M_k S_k S_2 - M_c S_2^2 - M_c S_k^2)}, \quad (3)$$

где M_k – критический момент двигателя; S_k – критическое скольжение.

Дифференцируя правую часть выражения (3) и приравнявая результат к нулю находим следующее соотношение, при котором произведение $i^2 t$ минимально.

$$S_2^3 - 4\lambda S_k S_2^2 + (2\lambda S_k + 3S_k^2)S_2 - 2S_k^2 = 0, \quad (4)$$

где $\lambda = \frac{M_k}{M_c} = \frac{M_k}{M_{ном}}$.

Так как $0 \leq S_2 \leq S_k$, а для асинхронного короткозамкнутого двигателя $S_k = 0,1 \dots 0,15$, то, пренебрегая в выражении (4) членами третьего порядка малости, находим

$$S_2 = \frac{S_k}{\lambda}. \quad (5)$$

Например, при пуске машинного агрегата, оснащенного электродвигателем А02-52-4 ($N = 10$ кВт, $n = 1460$ об/мин, $\lambda = 2$, $S_k = 0,1$, $S_{ном} = 0,0266$), $S_2 = 0,05$.

ВЫВОДЫ

1. Определены условия оптимального по потерям энергии в асинхронном электродвигателе пуска машинного агрегата, оснащенного звеном регулируемого скольжения.

2. Показано, что для выполнения этих условий необходимо на втором этапе пуска поддерживать скоростной режим асинхронного электродвигателя, определяемый соотношением (5).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Букина С. В. Динамическое проектирование рычажного механизма кромкообразования ткацкого станка фирмы Dornier с учетом статической характеристики электродвигателя // Вестник Костромского государственного технологического университета. 2015. № 1(34). С. 47–49.
2. Букина С. В., Ситникова Т. А. Динамический анализ машинного агрегата с помощью автоматизированного расчета с учетом неравномерности вращения главного вала станка // Технологии и качество. 2018. № 1(39). С. 28–35.
3. Букина С. В., Ширяев К. Е. Об аналитическом методе решения уравнения движения машинного агрегата // IV Международная школа-конференция молодых ученых «Нелинейная динамика машин» – School-NDM 2017 : сборник трудов (Москва, 18–21 апреля 2017 г.). М. : ИМАШ РАН, 2017. С. 207–209.
4. Артоболевский И. И., Зиновьев В. А., Умнов Н. В. Динамика механической системы с вариатором // Динамика машин. М. : Машиностроение, 1970. С. 17–23.
5. Леонов И. В., Леонов Д. И. Теория машин и механизмов. Основы проектирования по динамическим критериям и показателям экономичности : учеб. пособие. М. : Высшее образование, 2008. 500 с. (Основы наук).
6. Епифанов А. П. Основы электропривода : учеб. пособие. 2-е изд., стер. СПб.: Лань, 2009. 192 с.

REFERENCES

1. Bukina S. V. Dynamic design of the lever mechanism of the edge formation of the Dornier loom, taking into account the static characteristics of the electric motor. *Vestnik Kostromskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of the Kostroma State Technological University]. 2015;1(34):47–49.
2. Bukina S. V., Sitnikova T. A. Dynamic analysis of a machine unit using automated calculation taking into account the unevenness of rotation of the main shaft of the machine. *Tekhnologii i kachestvo* [Technologies & Quality]. 2018;1: 28–35.
3. Bukina S. V., Shiryayev K. E. On the analytical method for solving the equation of motion of a machine. IV International School-Conference of Young scientists “Nonlinear dynamics of machines” – School-NDM 2017: Proceedings (Moscow, April 18-21, 2017). Moscow, IMASH RAS Publ., 2017. P. 207–209.
4. Artobolevsky I. I., Zinoviev V. A., Umnov N. V. Dynamics of a mechanical system with a variator. - In the collection *Dynamics of machines*. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1970. P. 17–23.
5. Leonov I. V., Leonov D. I. Theory of machines and mechanisms. Fundamentals of design by dynamic criteria and efficiency indicators. Moscow, Vysshee obrazovanie Publ., 2008. 500 p. (Fundamentals of Sciences).
6. Epifanov A. P. Fundamentals of electric drive. 2nd ed., erased. St. Petersburg. Lan' Publ., 2009. 192 p.

Статья поступила в редакцию 26.06.2022

Принята к публикации 7.10.2022