

ЧАО «Тяжпромавтоматика»

## К ВОПРОСУ О ЖЕСТКОСТИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

*Выполнен сравнительный анализ критериев оценки жесткости механической характеристики электродвигателя или электропривода, которые используются авторами различных учебных пособий. Показано, что определения жесткости механической характеристики электродвигателя, приведенные в различных учебных пособиях, существенно отличаются друг от друга.*

*Виконано порівняльний аналіз критеріїв, що оцінюють жорсткість механічної характеристики електродвигуна або електропривода, які використовуються авторами різних навчальних посібників. Показано, що визначення жорсткості механічної характеристики електродвигуна, які є в різних навчальних посібниках, суттєво відрізняються одне від одного.*

*The criteria comparative analysis for evaluating the stiffness factor of the electric motor (motor drive) or electric drive speed load curve (speed-torque characteristic, mechanical characteristic), used by the authors of various educational aids, is conducted. It is shown that the descriptions of the stiffness factor of the electric motor (motor drive) stated in various educational books differ essentially.*

Как известно, одним из критериев оценки механической характеристики электродвигателя или электропривода является ее жесткость, определяемая степенью отклонения скорости этого электродвигателя или электропривода под действием нагрузочного момента на валу.

Несмотря на то, что само понятие жесткости механической характеристики в теории электропривода сформулировано достаточно давно, количественные оценки этого параметра в литературе по электроприводу существенно разнятся друг от друга, что не способствует определенности этих оценок при практической оценке упомянутых характеристик.

Ниже сделана попытка провести сравнение предлагаемых в разное время разными авторами критериев оценки жесткости механических характеристик.

Так, в [8] в качестве основного критерия для оценки механической характеристики предлагается принять **жесткость** их, которую рекомендуется определять

$$\alpha \% = \frac{\Delta M \%}{\Delta n \%} 100\% . \quad (1)$$

Соответственно, в зависимости от величины этого отношения механические характеристики разбиты на группы: сверхжесткие ( $\alpha = \infty$ ), жесткие ( $\alpha = 90-95\%$ ), мягкие ( $\alpha \leq 80\%$ ), повышающие и асинхронные. Обратим внимание, что коэффициент  $\alpha$  представляет собой безразмерную величину, выраженную в

процентах. Это позволяет производить сравнение механических характеристик различных двигателей или же электроприводов, независимо от их технических характеристик – мощности, скорости и т.п.

Однако уже в [2] вместо **жесткости** механической характеристики предлагается понятие **степень жесткости**, которая должна оцениваться величиной производной  $\frac{dM}{d\omega}$  или  $\frac{dM}{dn}$ . Эта величина не является безразмерной, она зависит от основных параметров электродвигателя или электропривода – момента и скорости вращения, что не позволяет сравнивать механические характеристики различных электродвигателей или электроприводов.

В дальнейшем в [3] предложена для использования производная, если момент и скорость выражены в абсолютных величинах,

$$\beta = \frac{dM}{d\omega} , \quad (2)$$

которую предлагается называть **абсолютной жесткостью**. Одновременно для удобства предложено использовать понятие **относительной жесткости**, которая определяется

$$\beta^D = \frac{dM^D}{d\omega^D} , \quad (3)$$

где  $M^D$  и  $\omega^D$  – значения момента и скорости, выраженные в долевых единицах по отношению к их определенным значениям, принятым за базисные. Этому определению несколько недостает четкости, так как за базисные принимаются разные величины для

разных типов электродвигателей. Но это опять безразмерная величина, правда, выраженная не в процентах, как в [8], а в долях.

Более четкий критерий для оценки жесткости предложен в [1]. Критерием для оценки жесткости здесь предлагается принять **крутизну** механической характеристики

$$\beta = \frac{\frac{\Delta n}{n_{ном}}}{\frac{\Delta M}{M_{ном}}} . \quad (4)$$

Если изменение момента и скорости выразить в процентах, то

$$\beta \% = \frac{\Delta n \%}{\Delta M \%} \cdot 100 \% . \quad (5)$$

Для удобства, если принять  $\Delta M = M_{ном}$ , то

$$\beta \% = \Delta n_{ном \%} . \quad (6)$$

Как видно из (5) и (6), согласно [1] критерием жесткости является безразмерная величина. В соответствии с этим критерием абсолютно жесткая механическая характеристика имеет **крутизну**  $\beta = 0$ , жесткая – **крутизну**  $\beta = (0 - 10 \%)$ , а мягкая – **крутизну**  $\beta \geq 10 \%$ . Это принципиально отличается от критериев, описываемых в [2,3,8].

Однако с этим не согласны авторы работы, опубликованной позднее [9]. В этой работе вводится определение: «**жесткость** механической характеристики электропривода – это отношение разности электромагнитных моментов, развиваемых электродвигательным устройством, к соответствующей разности угловых скоростей электропривода», т.е.

$$\beta = \frac{(M_2 - M_1)}{(\omega_2 - \omega_1)} = \frac{\Delta M}{\Delta n} , \quad (7)$$

или при нелинейных механических характеристиках

$$\beta = \frac{dM}{d\omega} . \quad (8)$$

Это величина, которая имеет размерность Н·м·с зависит от параметров электропривода.

Но через три года появляется работа других авторов [7], в которой степень влияния момента нагрузки на изменение скорости характеризуется **коэффициентом крутизны**, равным

$$\beta = \frac{\delta\omega}{\delta M} , \quad (9)$$

в котором  $\delta\omega = \Delta\omega / \omega_{ном}$ , а  $\delta M = \Delta M / M_{ном}$ .

Этот коэффициент для абсолютно жестких механических характеристик равен нулю, для жестких находится в пределах (1 – 10) %, а для мягких – более 10 %. Этот критерий по сути повторяет [1].

Позднее в объемном труде [6] для оценки механической характеристики электропривода вводится понятие **модуля статической жесткости**, который обозначается той же буквой

$$\beta = \frac{\Delta M}{\Delta\omega} . \quad (10)$$

В соответствии с выражением (10) эта величина имеет ту же размерность, что и в выражении (8).

Следует подчеркнуть подход к рассматриваемому вопросу автора работ [4, 5]. В них предлагается проводить сравнительную оценку механических характеристик по жесткости, которая определяется **коэффициентом жесткости**

$$\beta = \frac{dM}{d\omega} , \quad (11)$$

т.е. по тангенсу угла наклона  $\gamma$  механической характеристики. При этом получается выражение

$$\beta = \frac{m_M \cdot \Delta M}{m_\omega \cdot \Delta\omega} = \frac{m_M}{m_\omega} tg\gamma \equiv tg\gamma , \quad (12)$$

где  $m_M$  и  $m_\omega$  – масштабы моментов и скоростей по осям координат механической характеристики. При принятых обозначениях абсолютно жесткие характеристики имеют  $\gamma = 90^\circ$ ,  $\beta = \infty$ , у жестких при номинальном моменте  $M = M_H$  падение скорости  $\Delta\omega_H$  составляет не более 10 % от  $\omega_H$ . В этом случае  $\beta < 0$ ,  $\gamma = const$ , а для мягких –  $\Delta\omega_H > 0,1\omega_0$  при  $M = M_H$ . Наконец, для абсолютно мягких механических характеристик  $\beta = 0$ ,  $M = const$ . Это означает, что критерием является безразмерная величина, но этот критерий является обратной величиной по сравнению с критерием, который описывается выражениями (6) и (9).

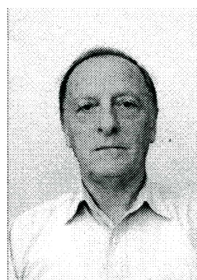
В заключение следует отметить, что все рассмотренные выше варианты оценки жесткости механической характеристики авторы приведенных в библиографии учебных пособий относят, как правило, к электродвигателям постоянного тока.

В то же время вид механической характеристики асинхронного электродвигателя однозначно определяется величиной номинального скольжения, которое имеет не только физический смысл соотношения скоростей вращения магнитного поля статора и ротора, но и независимо от величины нагрузочного момента определяет вид рабочей части механической характеристики. Очевидно, что такой же критерий, по мнению автора, мог бы быть использован и для оценки жесткости механической характеристики электродвигателя постоянного тока, если в формуле для определения скольжения асинхронного электродвигателя вместо синхронной скорости вращения магнитного

поля статора использовать скорость идеального холостого хода электродвигателя постоянного тока.

Сложившееся на сегодняшний день положение, когда отсутствует единое определение оценочного критерия такого важнейшего понятия – механической характеристики электродвигателя или электропривода нельзя считать нормальным.

Учитывая, что понятие «жесткости механической характеристики» в соответствии с программами обучения традиционно вводится в учебных курсах «Теории электропривода» студентам высших учебных заведений, обращает на себя внимание факт, что в учебном пособии [10], которое прошло рецензирование в нескольких университетах США и в котором детально рассмотрены естественные и искусственные механические характеристики электродвигателей постоянного и переменного тока, понятие **жесткости механической характеристики** вообще не введено и не рассматривается.



Лимонов Леонид Григорьевич,  
гл. спец. отдела  
ЧАО «Тяжпромавтоматика,  
Харьков, 61072, пр. Ленина 56,  
тел/факс (057)758 64 88  
tra5@vk.kh.ua

#### Список использованной литературы

1. Андреев В.П. Основы электропривода / В.П. Андреев, Ю.А.Сабинин – М.-Л. : Госэнергоиздат, 1963. – 772 с.
2. Гейлер Л.Б. Электропривод в тяжелом машиностроении / Л.Б.Гейлер – М. : Машгиз, 1958. – 588 с.
3. Голован А.Т. Основы электропривода / А.Т. Голован – М.-Л. : Госэнергоиздат, 1959. – 344 с.
4. Зеленев А.Б. Теория электропривода / А.Б.Зеленев – Алчевск: ДонГТУ, 2005.
4. Зеленев А.Б. Теория электропривода / Зеленев А.Б – 394 с.
5. Зеленев А.Б. Теория электропривода / А.Б. Зеленев – Луганськ : Ноулідж, 2010. – 670 с.
6. Ключев В.И. Теория электропривода / В.И. Ключев – М. : Энергоатомиздат, 2001. – 704 с.
7. Ковчин С.А. Теория электропривода./ С.А. Ковчин, Ю.А.Сабинин – СПб.: Энергоатомиздат, 1984. – 496 с.
8. Попов В.К. Основы электропривода / В.К. Попов – Л.-М.: Госэнергоиздат, 1951. – 292 с.
9. Чиликин М.Г. Общий курс электропривода / М.Г.Чиликин, А.С.Сандлер – М.: Энергоиздат, 1981. – 576 с.
10. Mohamed A. El-Sharkawi. Fundamentals of electric drives / M.A.Sharkawi – USA, 2000. – 314 с.

Получено 17.06.2011