Зеленов А.Б. *Украина*
Полилов Е.В. *Алчевск*

Донбасский государственный технический университет

ОГРАНИЧЕНИЕ ПЕРЕДАТОЧНОГО ЧИСЛА РЕДУКТОРА ПРОЧНОСТЬЮ ДЕТАЛЕЙ МЕХАНИЗМА

Введение. В теории электропривода рассматривается задача расчета оптимального передаточного числа редуктора по условию быстродействия при повторно - кратковременном режиме работы, что не всегда является достаточным, так как в этих расчетах не учитывается прочность деталей рабочей машины и передаточного устройства.

Постановка задачи исследования. Требуется искать новое дополнительное решение с учетом ограничения расчетного значения передаточного числа редуктора прочностью деталей механизма. Решение поставленной задачи следует искать из уравнения движения электропривода при пуске с некоторым максимальным по условиям прочности механизма пусковым моментом.

Материалы исследования. При правильном выборе передаточного числа редуктора величина его, даже будучи оптимальной по быстродействию электропривода, не должна нарушать запаса прочности деталей механизма, то есть некоторой величины $\lambda M_{ñ.ì}$, где $M_{ñ.ì}$ - статический момент на валу механизма, а $\lambda > 1$ - запас статической прочности.

Наибольшим напряжениям детали рабочей машины подвергаются при пуске, когда движущий момент на валу механизма $M_{ì}$ имеет наибольшее значение ($M_{ì} = J_{ì}\dfrac{d\omega_{ì}}{dt} + M_{ñ.ì}$) при ускорении механизма $\dfrac{d\omega_{ì}}{dt}$ и моменте инерции механизма $J_{ì}$.

Таким образом, максимальный момент, развиваемый при пуске, приведенный к валу рабочей машины, не должен превышать величину

$$\lambda M_{ñ.ì} \ge J_{ì}\frac{d\omega_{ì}}{dt} + M_{ñ.ì} \quad \text{или} \quad \lambda M_{ñ.ì} \ge J_{ì}\frac{d\omega}{dt}\cdot\frac{1}{i} + M_{ñ.ì} , \qquad (1)$$

где ω - скорость двигателя; i - передаточное число редуктора.

На валу двигателя переходный процесс пуска с движущим моментом M (без учёта к.п.д. механизма, т.е. при $\eta \cong 1$) описывается следующим уравнением движения:

$$M = \left(J_{ä} + \frac{J_{ì}}{i^2}\right)\frac{d\omega}{dt} + \frac{M_{ñ.ì}}{i} , \qquad (2)$$

где $J_{ä}$ - момент инерции деталей на валу двигателя.

Из (2) следует, что

$$\dot{\omega}(i) = \frac{M - M_{ñ.ì}/i}{J_{ä} + J_{ì}/i^2} = \frac{M i^2 - M_{ñ.ì}\, i}{J_{ä}\, i^2 + J_{ì}} . \qquad (3)$$

Подставляя значение ускорения $d\omega/dt$ по (3) в (1), получим следующее выражение:

$$\lambda M_{ñ.ì} \ge \frac{J_{ì}}{i}\frac{M i^2 - M_{ñ.ì}\, i}{J_{ä}\, i^2 + J_{ì}} + M_{ñ.ì} . \qquad (4)$$

Дальнейшее преобразование приведёт к следующему неравенству:

$$i^2 - \frac{J_{ì}\, M}{(\lambda - 1) M_{ñ.ì}\, J_{ä}} i + \frac{\lambda J_{ì}}{(\lambda - 1) J_{ä}} \ge 0 \quad \text{или} \quad f(i) \ge 0 . \qquad (5)$$

Полагая (5) равенством, решим его относительно $i = i_{ï\, ðåä}$ - предельное значение передаточного числа редуктора по прочности деталей механизма:

$$i_{ï\, ðåä} = \frac{j}{2m(\lambda - 1)}\left[1 \pm \sqrt{1 - \frac{4\lambda m^2 (\lambda - 1)}{j}}\right], \qquad (6)$$

где $j = J_{ì}/J_{ä}$; $m = \dfrac{M_{ñ.ì}}{M} = \dfrac{M_{ñ.ì}}{k M_{í}}$.

Решение возможно при $1-\dfrac{4\lambda\, m^2(\lambda-1)}{j}>0$. Очевидно, что для различных λ будут получены по две величины $i_{\text{ï ðåä 1}} \neq i_{\text{ï ðåä 2}}$, причём как будет показано ниже «предельным» значением является меньшая величина.

Рассмотрим пример определения $i_{\text{ï ðåä}}$ для следующих исходных данных:

$P_{\text{í}} = 42\,\text{êÂò}$; $\omega_{\text{í}} = 104{,}7\,\text{ñ}^{-1}$; $J_{\text{ä}} = 2\ \text{Äæ}\cdot\text{ñ}^2$; $J_{\text{ì}} = 50\ \text{Äæ}\cdot\text{ñ}^2$; $M_{\text{ñ.ì}} = 930\ \text{Äæ}$; $M_{\text{ñ}} = 200\ \text{Äæ}$; $M_{\text{í}} = 401\ \text{Äæ}$; $k = 2$; $\eta = 0{,}93$.

Оптимальное передаточное число $i_o \cong \sqrt{J_{\text{ì}}\ / J_{\text{ä}}} = 5$, $j = 50/2 = 25$, $m = \dfrac{930}{2\cdot 401} = 1{,}16$.

В соответствии с (6)

для $\lambda = 1{,}5$ - $i_{\text{ï ðåä 1}} = 1{,}816$; $i_{\text{ï ðåä 2}} = 41{,}30$;

для $\lambda = 2{,}5$ - $i_{\text{ï ðåä 1}} = 4{,}028$; $i_{\text{ï ðåä 2}} = 10{,}35$.

Построим функциональные зависимости $\dot{\omega}(i)$ и $f(i)$ согласно (3) и (5) для различных λ.

$\lambda = 1{,}5$ $\qquad\qquad$ $\lambda = 2{,}5$

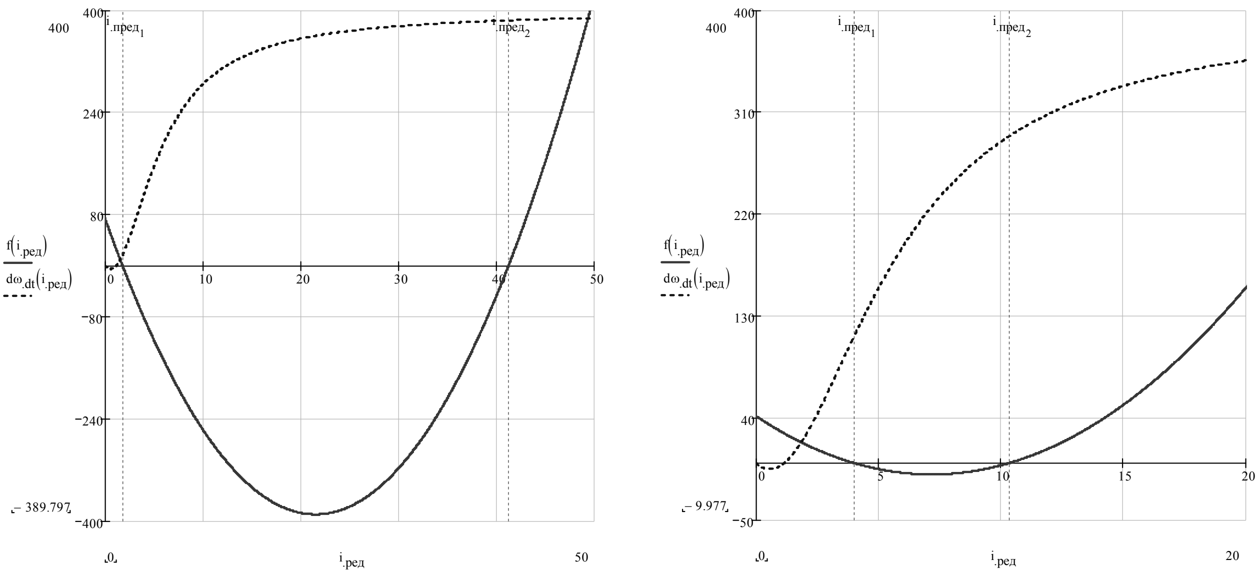

Рис.1. Функциональные зависимости $\dot{\omega}(i)$ и $f(i)$

Как видно из представленных диаграмм, в диапазонах $0 < i < i_{\text{ï ðåä 1}}$ и $i_{\text{ï ðåä 2}} < i < \infty$ функция $f(i) > 0$, что допустимо согласно (5). Однако в диапазоне $i_{\text{ï ðåä 1}} < i < i_{\text{ï ðåä 2}}$ функция $f(i) < 0$, следовательно, здесь нарушается неравенство (5) и уже, несмотря на то, что при $i_{\text{ï ðåä 2}} < i < \infty$ функция $f(i) > 0$, передаточное число редуктора не может быть большим $i_{\text{ï ðåä 1}}$. Более того, величины $i_{\text{ï ðåä 1}}$ и $\dot{\omega}\left(i_{\text{ï ðåä 1}}\right)$ с ростом запаса прочности λ деталей механизма также увеличиваются, а вот величины $i_{\text{ï ðåä 2}}$ и $\dot{\omega}\left(i_{\text{ï ðåä 2}}\right)$ снижаются, что абсолютно нелогично, поскольку с физической точки зрения увеличение запаса прочности деталей механизма на этапе его изготовления так или иначе при эксплуатации позволит «выдерживать» большие ускорения. Следовательно, «предельным» значением передаточного числа редуктора из двух величин $i_{\text{ï ðåä 1}} \neq i_{\text{ï ðåä 2}}$ является меньшая.

Выводы. При расчетах оптимального передаточного числа редуктора в электроприводе необходимо определять его с учетом прочности деталей механизма и из двух расчетных значений выбирать меньшую величину.

Литература.

1. Зеленов А.Б. Теория электропривода, ч.1.-Алчевск, ДонГТУ, 2005.- 394 с.