

УДК-62-83-621.3

В.П. Попов, доцент, канд. техн. наук,

И.Н. Турлюн, студент

Севастопольский национальный технический университет

ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Украина, 99053

E-mail: root@sevgtu.sebastopol.ua

ВОПРОСЫ ДИНАМИКИ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩЕГО ПРИВОДА

Анализируется возможность применения типовых электродвигателей для увеличения быстродействия электропривода.

Производительность поточных линий зависит от качества работы исполнительных механизмов, входящих в их состав. Так недостаточное быстродействие механизмов установки валков, манипуляторов и ножниц горячей резки сдерживает дальнейший рост выпуска проката действующего блюминга. На это обращено внимание, и в настоящее время осуществляется модернизация указанных машин.

Область применения быстродействующих приводов расширяется, так как сокращение времени переходных режимов и увеличение скорости рабочих машин является основой интенсификации производства.

Наибольшим быстродействием обладают безредукторные приводы. В случае применения редуктора даже с оптимальным передаточным отношением привод не может развить ускорение, равное ускорению безредукторного привода. Замена редукторного привода безредукторным приводит к увеличению мощности двигателя, а момент инерции якоря изменяется [1] как

$$J_{\text{дв}} = k \chi M_{\text{дв}}^n, n > 1,$$

где $M_{\text{дв}}$ – электромагнитный момент двигателя.

Поэтому «естественное» ускорение более мощного двигателя относительно уменьшается.

Целью статьи является изучение возможности применения безредукторных электродвигателей для увеличения быстродействия привода.

Для выявления быстродействия редукторного и безредукторного приводов необходимо сравнить ускорения двигателей. При заданных значениях статического момента M_c , времени перемещения и угла поворота вала механизма $\beta_{\text{мех}}$ быстродействие привода определится из соотношения [1]:

$$\frac{a_p}{a_b} = \frac{(M_p - \frac{M_c}{i_0}) \chi (J_b + J_m)}{(J_{pb} - \frac{J_m}{i_0^2}) \chi (M M_t)} \quad (1)$$

Здесь a_p и a_b – максимальные угловые ускорения редукторного и безредукторного приводов, M_p , J_p – момент на валу и момент инерции якоря двигателя редукторного привода, M_b , J_b – то же, безредукторного привода, J_m – момент инерции рабочей машины, i_0 – оптимальное передаточное отношение редуктора.

Учитывая, что M_c и J_m для обоих приводов одинаковы, можно записать:

$$\frac{a_p}{a_b} = \frac{J_b + J_m}{(J_p - \frac{J_m}{i_0^2}) \chi i_0} \quad (2)$$

Так как оба привода за время T должны совершить одинаковую работу, требуется определить отношение ускорений двигателей, необходимое для поворота вала механизма на угол $\beta_{\text{мех}}$. При пуске привода ($M_{\text{дин}} = \text{const}$) угол поворота вала двигателя определяется [1] как:

$$\beta = \frac{J \omega_c^2}{2 M_{\text{дин}}} \quad (3)$$

где β – угол поворота вала двигателя в радианах, J – момент инерции системы, приведенный к валу двигателя, ω_c – угловая скорость двигателя в конце пуска.

Тогда угол поворота вала двигателя редукторного привода определится из выражения

$$\beta_p = \frac{(J_p + \frac{J_m}{i_0^2}) \chi \omega_{cp}^2}{M_{\text{дин.p.}}} \quad (4)$$

Угол поворота вала двигателя безредукторного привода равен

$$\beta_{\delta} = \frac{(J_{\delta} + J_M) \omega_{\delta}^2}{M_{\text{дин.б.}}} \quad (5)$$

Для заданного пути перемещения можно записать

$$\beta_p = i_0 \beta_{\delta} \quad (6)$$

Подставляя в (4) соотношение (6) и учитывая (5), получаем:

$$\frac{(J_p + \frac{J_{\delta}}{i_0^2}) \omega_{cp}^2}{i_0^2 M_{\text{дин.р.}}} = \frac{(J_{\delta} + J_M) \omega_{\delta}^2}{M_{\text{дин.б.}}} \quad (7)$$

Полагая $M_{\text{дин.б.}} = i_0 M_{\text{дин.р.}}$, уравнение (7) можно записать в виде

$$\frac{\omega_{cp}}{\omega_{\delta}} = \sqrt{\frac{J_{\delta} + J_M}{J_p + \frac{J_M}{i_0^2}}} \quad (8)$$

Двигатели при пуске должны достичь угловых скоростей ω_{cp} и ω_{δ} за время T , следовательно, необходимое соотношение ускорений редукторного и безредукторного приводов равно

$$\frac{a_p}{a_{\delta}} = \sqrt{\frac{J_{\delta} + J_M}{J_p + \frac{J_M}{i_0^2}}} \quad (9)$$

где a_p, a_{δ} – максимальное ускорение вала двигателя редукторного и безредукторного приводов, необходимое для поворота на угол β за время T .

Быстродействие редукторного и безредукторного приводов определится из соотношения максимально необходимого (9) и максимально возможного (1) ускорений.

Полагая $a_p = a_{\delta}$, можно записать:

$$\frac{a_p}{a_{\delta}} = \sqrt{\frac{i_0^2 \omega_{pm}^2 J}{J_{\delta} + J_M}} \quad (10)$$

У двигателей мощностью до 200 кВт момент инерции с увеличением габаритов изменяется $J_{\delta} = k \omega_{\delta}^n$, $1 < n < 1,66$. Полагая $n=1,6$ и подставляя в (10), получаем

$$\frac{a_p}{a_{\delta}} = \sqrt{\frac{i_0^2 \omega_{pm}^2 k M^{1,6} J}{k M^{1,6} + J_M}} > 1 \quad (11)$$

Из равенства (11) видно, что безредукторный привод обладает большим быстродействием, так как $a_p > a_{\delta}$, т.е. двигатель, связанный с нагрузкой посредством редуктора, не может развить необходимого ускорения, чтобы совершить равное перемещение механизма за один и тот же период времени, хотя двигатель, связанный непосредственно с нагрузкой, имеет большую мощность, габариты и маховой момент.

Для безредукторного привода применяются тихоходные машины, но при увеличении момента инерции двигателя и снижении скорости, как это видно из (3), время переходных режимов безредукторного привода значительно сокращается, что уменьшает потери энергии при работе.

Исследования показали, что для быстродействующего привода могут быть использованы типовые быстроходные двигатели при питании якоря пониженным напряжением [2].

При заданном времени перемещения T можно записать что

$$\frac{\beta_1}{\beta_2} = \frac{a_{\text{нвн}}}{a_{\text{дин}}} \frac{M_{\delta 1} \omega_{\delta 1}^2 (J_{M2} + J)}{M_{\delta 2} \omega_{\delta 2}^2 (J_{M1} + J)} \quad (12)$$

где β_1, β_2 – угол поворота вала двигателя МПЛ–55–83 и ДП 92, $J_{\delta 1}, M_{\text{дин}1}$ – момент инерции и момент динамический двигателя МПЛ–55–83, $J_{\delta 2}, M_{\text{дин}2}$ – то же, двигателя ДП92.

Целесообразность применения типовых быстроходных двигателей ДП вместо специального МПЛ можно показать на примере привода быстроходного лифта. В таблице 1 представлены технические данные двигателей ДП 92 и МПЛ–55–83.

Тип	U_n , В	P_n , кВт	M_n , Н·м	n , об/мин	I_n , А	$M_{\max}$, Н·м	η , %	GD^2 , кг·м ²	Вес, кг	Примечания
МПЛ–55–83	220	40,5	4660	83	225	12100	80,5	520	4835	Самовентиляция
ДП 92	440	165	4370	455	420	8980	89,3	130	4150	ПВ=15 %
	87	33,4	3470	92	420	8980	89,3	130	4150	ПВ=15 %

Подстановкой данных из таблицы и величин для быстроходного привода лифта ($M_c=3340$ Н·м; $J_M=92$ кг·м²; $D_{\text{шкива}}=1,125$ м) из (12) получим:

$$\frac{\beta_1}{\beta_2} = \frac{a_{n1}}{a_{n2}} = 0,9.$$

Известно, что при заданном Т

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{n_1}{n_2},$$

тогда $n_2=n_1 \cdot 1,11=92$ об/мин. Напряжение на якоре двигателя ДП 92, необходимое для получения скорости, находится как

$$U = U_n \frac{92}{455} = 87 \text{ В.}$$

Быстродействие привода с двигателем ДП 92 определяется из соотношений:

а) в переходном режиме

$$\frac{T_1}{T_2} = \sqrt{\frac{a_{\alpha 2}}{a_{\alpha 1}}} = 1,096,$$

где a_{α} – эквивалентное ускорение;

б) с установившимся движением

$$T_1 = \frac{\omega_{c1}}{\alpha_{\alpha 1}} + \frac{\alpha_1}{\omega_{c1}} = 0,168 + 0,723 \text{ чН},$$

где N – поворот вала двигателя в оборотах и тогда будем иметь:

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{\frac{0,168}{N} + 0,723}{\frac{0,156}{N} + 0,651},$$

при $N > 3$ $\frac{T_1}{T_2} \approx 1,11$.

Таким образом, применение типовых двигателей увеличивает быстродействие на 10 % по сравнению с специальными машинами. Уменьшение веса двигателя ДП 92 удешевляет установку в целом.

В будущем предполагается исследовать работу судовых грузоподъемных устройств при замене специальных электрических машин на типовые двигатели для увеличения производительности механизма.

ВЫВОДЫ

1. Для механизмов, работающих в повторно-кратковременном режиме, целесообразно применять безредукторный привод. Это увеличивает быстродействие и уменьшает расход энергии при работе.

2. В безредукторных приводах, крутящий момент на валу которых не превышает 5...10 кНм, можно применять типовые быстроходные двигатели, работающие при пониженном напряжении на якоре.

Библиографический список

1. Андреев В.П. Основы электропривода / В.П. Андреев, Ю.А. Сабинин. — М.: Госэнергоиздат, 1963. — 772 с.

Поступила в редакцию 12.12.2007 г.