

УДК 62-83

*В. И. Лалетин, В. В. Рычков*

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДИСКРЕТНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА В СИСТЕМЕ ОБОБЩЕННЫХ КООРДИНАТ**

В статье освещается вопрос достижения максимальной электромагнитной мощности, возникающий при проектировании дискретного электропривода с шаговыми двигателями с известными параметрами нагрузки, посредством представления характеристик привода в обобщенных координатах, таких как коэффициент внутреннего электромагнитного демпфирования, постоянная времени привода, частота собственных колебаний, относительный момент нагрузки, относительная частота приемистости. Цель исследования состоит в том, чтобы обеспечить работу привода в более широком диапазоне скоростей и частот при заданном моменте нагрузки. Показано, что с учетом универсальных характеристик привода в заданных диапазонах изменения параметров существуют зависимости взаимосвязанных координат, позволяющие определить оптимальные режимы работы. Представлены рекомендации по определению значения передаточного отношения редуктора, которое оптимизирует работу привода с учетом его обобщенных координат.

*Ключевые слова:* дискретный электропривод, шаговый двигатель, частота приемистости, относительный момент нагрузки, обобщенные параметры, постоянная времени частоты собственных колебаний привода, коэффициент внутреннего электромагнитного демпфирования, коэффициент редукции.

Дискретный электропривод с шаговыми двигателями включается в системы воспроизведения движения для решения задач комплексной автоматизации технологических и производственных процессов в связи с его способностью реализовывать функции электромеханического позиционера в структуре без обратной связи по положению.

При проектировании дискретного электропривода (ДЭП) возникает необходимость выбора типа шагового двигателя (ШД) и драйверов, а также определения режимов работы в плане согласования с заданной нагрузкой с целью достижения высоких энергетических характеристик.

Исследование электромагнитных и электромеханических параметров ДЭП, которые обеспечивали бы получение требуемых динамических показателей при строгом соблюдении ограничений, наложенных на величины статических и динамических ошибок, показывает, что последние являются функциями обобщенных параметров и структурных особенностей привода [1]. Проектирование ДЭП в среде обобщенных параметров, которые являются основными электромагнитными и электромеханическими координатами привода, выраженными в о. е., позволяет оптимальным образом реализовать как позиционную, так и в ряде случаев простую контурную мехатронную систему воспроизведения движения.

Функционирование ДЭП в системе обобщенных координат привода, ограничивается следующими областями: коэффициент внутреннего электромагнитного демпфирования –  $\delta = 0 \div 1$ ; постоянная времени привода –  $\alpha = 0 \div 2$ ; относительный момент нагрузки –  $\mu_n = 0 \div 0,5$  [2].

В этом диапазоне зависимости относительной частоты приемистости от коэффициента внутреннего демпфирования  $f_{ПР} = F(\delta)$  (для четырехтактного ШД) с привязкой к постоянной времени привода  $\alpha$  подчиняются нелинейному закону, в соответствии с которым усиление демпфирующей способности привода снижает частоту  $f_{ПР}$  (рисунок 1) [1].

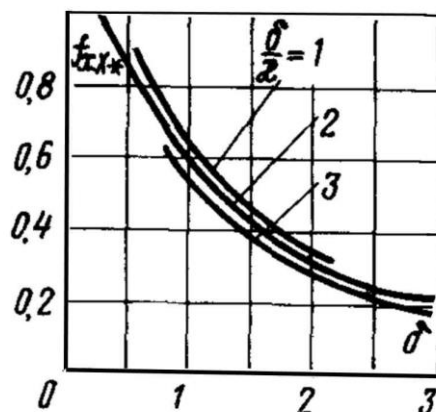


Рис. 1. Зависимости относительной частоты приемистости от коэффициента внутреннего демпфирования

Зависимость  $f_{гр}=F(\delta)$  вынуждает ограничивать частотный диапазон привода в системах с повышенными значениями внутреннего электромагнитного демпфирования.

Относительная мощность на валу, которую ШД может развить в режиме на частоте приемистости, равна [2].

$$\rho_{гр} = \omega_{м.гр} \mu_n, \quad (1)$$

где  $\omega_{м.гр} = \delta \times \omega_{гр} = \delta a f_{гр}^*$  – частота вращения ротора ШД;  $a$  – коэффициент пропорциональности.

Выражение (1), в которое параметр  $\delta$  входит явно, теряет смысл при питании ШД от источника тока, так как

$$\lim_{\delta \rightarrow 0} \rho_{гр} = 0. \quad (2)$$

Это объясняется тем, что величина базисной мощности в этих условиях стремится к бесконечности, поскольку базис напряжения  $U_\delta$  зависит от напряжения источника питания, что подтверждается рядом работ [3, 4, 5, 6].

Для иллюстрации построена зависимость  $\mu = f(\rho_{гр})$  (рисунок 2а).

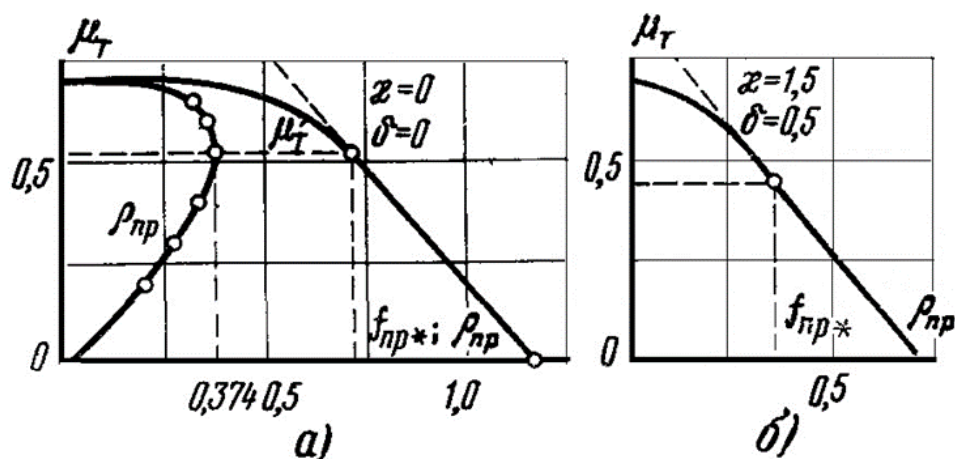


Рис. 2. Зависимости нагрузки от мощности приемистости

Анализ зависимостей показывает, что более высокими динамическими показателями обладает привод с питанием ШД от источника тока при  $\alpha = \delta = 0$  (рисунок 2, а). В традиционных приводах с питанием от источника напряжения при значениях  $\alpha = 1,5$  и  $\delta = 0,5$  мощность приемистости составляет  $\rho_{PP} < 0,5$  (рисунок 2, б).

В общем случае привод содержит механический редуктор с передаточным отношением  $i = \Omega_{ШД} / \Omega_{Мех}$ . Если передаточное отношение  $i$  известно, то привод может быть охарактеризован величинами, приведенными к валу ШД:

$$M_m = \frac{M'_m}{i}; J_n = \frac{J'_n}{i^2}; a_m = ia'_m; i = \frac{\Omega_m}{\Omega'_m}. \quad (3)$$

Исходя из условия достижения оптимальных энергетических показателей, задача, очевидно, состоит в выборе такого передаточного отношения  $i$ , которое наилучшим образом приводит значение нагрузки механизма к валу ШД. При этом в общем случае при  $M'_m \neq 0$  и  $J'_n \neq 0$  ошибочным является определение значения передаточного отношения по выражению:

$$i = \frac{M'_m}{M_m}, \quad (4)$$

так как соотношение между  $M'_m$  и  $J'_n$  закреплено и законы редукции одновременно, но по разным выражениям приводят их к валу ШД.

Момент инерции нагрузки входит непосредственно в величину  $\omega_0$ , следовательно, изменяет базисные значения скорости и мощности.

В [1] показано, что при числе тактов алгоритма работы ШД  $n=4$  обобщенные параметры разомкнутого привода связаны уравнением

$$i = \frac{\pi k_{x\delta}}{\omega_{x.x}} \mu'_n (1 + k_j), \quad (5)$$

где

$$\left\{ \begin{array}{l} k_j = \frac{-2s + \sqrt[3]{s^3 + r + \sqrt{\frac{1}{2}rs^3 + r^2}} + \sqrt[3]{s^3 + r - \sqrt{\frac{1}{2}rs^3 + r^2}}}{3s}; \\ s = \frac{\pi}{3} k_{x\delta} \frac{M'_m}{M_m}; r = \frac{\pi}{4} k_{x\delta} \frac{\mu'_n j'_n}{\omega_{x.x}}; \\ \mu'_m = \frac{M'_m}{M_m}; j'_n = \frac{J'_n}{J_r}. \end{array} \right.$$

Коэффициент  $k_j$  определяет влияние момента инерции механизма  $J'_n$  на величину передаточного отношения. Действительно, если  $J'_n = 0$ , то  $k_j = 0$  и

$$i_0 = \frac{\pi}{\omega_{x.x}} k_{x\delta} \mu'_m. \quad (6)$$

Полученный результат позволяет определить условия достижения максимальной электромагнитной мощности, развиваемой ШД при оптимальном передаточном отношении при заданных или определенных на основании исследования обобщенных координат привода.

### Список литературы

1. *Ивоботенко Б. А., Козаченко В. Ф.* Проектирование шагового электропривода / под ред. Л. А. Садовского. М.: МЭИ, 1985. 100 с.: ил.
2. Дискретный электропривод с шаговыми двигателями / под общ. ред. М. Г. Чиликина. М.: «Энергия», 1971. 624 с.: ил.
3. *Лалетин В. И., Хорошавин В. С.* Математическая модель квазизамкнутого планарного дискретного электропривода со стабилизацией программного движения при внешних

стохастических поворотных воздействиях // Управление и обработка информации: сб. науч. тр. / ВятГТУ. 1998. № 3. С. 51–53.

4. Лалетин В. И., Грудинин В. С., Рычков В. В. Анализ устойчивости планарного дискретного электропривода с ортогональным позиционированием характеристических осей // Информатизация и связь. 2016. № 1. С. 36–39.

5. Лалетин В. И. Математическая модель электромеханической системы широтно-импульсный преобразователь – шаговый двигатель // Вестник Вятского научного центра Верхне-Волжского отделения Академии технологических наук РФ. 2004. № 1(5). С. 86–98.

6. Лалетин В. И., Сбоев В. М., Рычков В. В. Синтез дискретного электропривода с косвенным замыканием путевой координаты // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 6. 8 с.

**ЛАЛЕТИН Вениамин Иванович** – кандидат технических наук, доцент кафедры электропривода и автоматизации промышленных установок, Вятский государственный университет. 610000, г. Киров, ул. Московская, 36.

E-mail: laletin@vyatsu.ru

**РЫЧКОВ Владимир Викентьевич** – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры электропривода и автоматизации промышленных установок, Вятский государственный университет. 610000, г. Киров, ул. Московская, 36.

E-mail: rychkov@vyatsu.ru