

УДК 681.5.015.24

*Н. Н. Игнатов, П. А. Мизев, П. А. Тишин**

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ДИНАМИКИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ГИБРИДНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

В настоящее время очень сильно набирает популярность применение гибридных систем на транспорте. Однако при разработке таких систем возникают проблемы, такие как отсутствие общепринятых и аргументированных процедур выбора основных параметров электро-механических устройств для гибридной транспортной техники, а именно коэффициентов редукции, числа передач, частот вращения, частот питания электрических машин, числа пар полюсов и т.д. Выбор типа электродвигателя также является сложной задачей.

Данные трудности в значительной мере сдерживают разработку улучшенных образцов гибридной техники, затрудняют единогласие специалистов – разработчиков электрических машин, электроприводов, механических устройств и специалистов-транспортников [1].

Проанализировав и обобщив представленную информацию, можно сделать вывод, что для эффективного применения алгоритмов оптимального энергосберегающего управления к гибридным объектам необходимо решить следующие задачи:

- разработать модель динамики электропривода, которая подходит для правильного решения задач оптимального управления электроприводом при всех вероятных состояниях функционирования;
- найти возможные виды функций оптимального управления и условия их наличия;
- разработать методы синтеза энергосберегающего управления динамическими режимами функционирования электропривода в различных состояниях его работы;
- создать методику конструирования системы оптимального энергосберегающего управления гибридными объектами.

Разработка модели динамики электропривода является практически основной задачей и ее решение необходимо для применения оптимального алгоритма энергосбережения.

* Работа выполнена под руководством канд. техн. наук, доцента ФГБОУ ВПО «ТГТУ» Н. А. Кольтюкова.

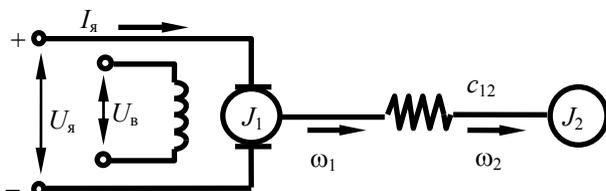


Рис. 1. Схема электропривода с двигателем постоянного тока

В результате исследования литературы можно с уверенностью сказать, что на транспорте зачастую используются двигатели постоянного тока и асинхронные двигатели.

Систему двигателя постоянного тока можно представить схемой, показанной на рис. 1; в этом случае динамический режим можно описать уравнениями:

$$\begin{aligned}
 U_{\text{в}} &= \frac{R_{\text{в}}}{k} (1 + T_{\text{в}} p) \Phi, \\
 U_{\text{я}} &= R_{\text{я}} (1 + T_{\text{я}} p) I_{\text{я}} + k \Phi \omega_1, \\
 k \Phi I_{\text{я}} - c_{12} (\varphi_1 - \varphi_2) - M_{c1} &= J_1 p \omega_1, \\
 c_{12} (\varphi_1 - \varphi_2) - M_{c2} &= J_2 p \omega_2,
 \end{aligned} \tag{1}$$

где $U_{\text{я}}$ – напряжение на якоре; J_1, J_2 – моменты инерции механизма и двигателя; c_{12} – твердость связи; φ_1, φ_2 – углы разворота вала; ω_1, ω_2 – угловые скорости; $T_{\text{я}}, T_{\text{в}}$ – постоянная времени обмоток якоря и постоянная возбуждения.

При неустойчивом магнитном потоке система (1) нелинейна, и для ее линеаризации в большинстве случаев предполагают $\Phi = \Phi_{\text{н}} = \text{const}$, $k \Phi_{\text{н}} = c$, где $\Phi_{\text{н}}$ – номинальный магнитный поток. Вследствие данных предположений модель динамики может быть представлена в виде

$$\begin{aligned}
 R_{\text{я}} (1 + T_{\text{я}} p) I_{\text{я}} &= U_{\text{я}} - c \omega_1, \\
 c I_{\text{я}} - c_{12} (\varphi_1 - \varphi_2) - M_{c1} &= J_1 p \omega_1, \\
 c_{12} (\varphi_1 - \varphi_2) - M_{c2} &= J_2 p \omega_2.
 \end{aligned} \tag{2}$$

Разработка более простой модели двигателя постоянного тока выполняется при следующих зачастую используемых на практике допущениях: 1) двигатель – это объект с сосредоточенными характеристиками; 2) изменение нагрузки во времени имеет кусочно-постоянный вид; 3) исходные условия нулевые; 4) коэффициенты, входящие в (1), (2), являются постоянными; 5) в основе математической модели динамики электродвигателя (ЭД) постоянного тока лежат следующие уравнения:

$$R_{\text{я}} I_{\text{я}} + L_{\text{я}} \frac{dI_{\text{я}}}{dt} + k \omega = U_{\text{я}}; \tag{3}$$

$$M = M_{\text{н}} + J \frac{d\omega}{dt}; \quad (4)$$

$$M_{\text{н}} = f\omega, \quad (5)$$

где ω – угловая валовая скорость ЭД; M – электромагнитный момент; $M_{\text{н}}$ – статический момент валового сопротивления ЭД; f – приведенный коэффициент нагрузки.

Принимая во внимание данные допущения, модель динамики электродвигателя постоянного тока можно записать в виде дифференциального уравнения третьего порядка относительно углового расстояния θ :

$$L_{\text{я}}J \frac{d^3\theta}{dt^3} + (JR_{\text{я}} + L_{\text{я}}f) \frac{d^2\theta}{dt^2} + (fR_{\text{я}} + k^2) \frac{d\theta}{dt} = ku, \quad (6)$$

или в обычной форме

$$\begin{aligned} z_1 &= z_2(t), \\ z_2 &= z_3(t), \\ z_3 &= a_1z_2(t) + a_2z_3(t) + bu, \end{aligned} \quad (7)$$

где z_1 – угловое расстояние θ , рад; z_2 – угловая скорость ω , рад/с; z_3 – угловое ускорение, рад/с²;

$$a_1 = -\left(\frac{R_{\text{я}}}{L_{\text{я}}} + \frac{f}{J}\right); \quad a_2 = -\left(\frac{fR_{\text{я}} + k^2}{L_{\text{я}}J}\right); \quad b = \frac{k}{L_{\text{я}}J}.$$

Для решения задач синтеза и анализа оптимального управления (ОУ) в реальном времени порядок системы (7) может быть понижен, если в качестве координат фазы использовать $z_1 = \omega$, $z_2 = \frac{d\omega}{dt}$.

В данном случае модель будет иметь вид двойного апериодического звена (ДА):

$$\begin{aligned} z_1 &= z_2(t), \\ z_2 &= a_1z_1(t) + a_2z_2(t) + bu(t). \end{aligned} \quad (8)$$

Для большего количества двигателей обычно применяются неравенства $L \ll 1$, $k \ll 1$, $J \gg 1$, при этом модель (8) становится еще более простой и принимает вид апериодического звена (А)

$$z = az(t) + bu(t), \quad (9)$$

где $z = \omega$; $a = -\frac{fR_{\text{я}} + k^2}{JR_{\text{я}} + L_{\text{я}}f}$; $b = \frac{k}{J_{\text{я}}R + L_{\text{я}}f}$.

Передаточные функции электродвигателя постоянного тока независимого возбуждения имеют следующий вид:

– при изменении напряжения на якоре

$$W(p) = \frac{K_d}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)}; \quad (10)$$

– при изменении тока в обмотке возбуждения

$$W(p) = \frac{K}{(T_3 p + 1)(T_4 p + 1)}, \quad (11)$$

где K_d , K – коэффициенты передачи двигателя; T_1 , T_2 , T_3 , T_4 – постоянные времени, которые зависят от параметров определенного электродвигателя.

Таким образом, получена модель, пригодная для синтеза энергосберегающего управления.

Список литературы

1. Кольтюков, Н. А. Оптимальное энергосберегающее управление смесительными машинами предприятий по производству и переработке полимерных материалов: дис. ... канд. техн. наук / Н. А. Кольтюков; ТГТУ. – Тамбов, 2002. – 174 с.