

ТЕХНОЛОГИИ И СРЕДСТВА МЕХАНИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА



УДК 62-83 (075.8)

**А.А. Багаев,
В.Г. Лукьянов,
Р.С. Чернусь**

ДВИГАТЕЛЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА КАК ПЕРВИЧНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА ЦЕНТРОБЕЖНЫХ РАСХОДОМЕРОВ СЫПУЧИХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРОДУКТОВ

Введение

Современные хлебоприемные пункты, элеваторы, мельницы, комбикормовые предприятия характеризуются наличием высокомеханизированных непрерывных технологических процессов, в которых мгновенные расходы муки, зерна, отрубей и других продуктов в потоке носят случайный характер. Непрерывный контроль расхода компонентов позволит стабилизировать качество готового продукта.

Одним из основных требований, предъявляемых к расходомерам, является точность измерения. Важным этапом автоматизации подобных процессов может рассматриваться создание расходомеров и дозаторов, составной частью которых является датчик. При разработке расходомеров задачей первостепенной важности является отыскание таких параметров датчика, при которых обеспечивается в заданном диапазоне изменения физико-механических свойств сыпучих продуктов однозначная функциональная связь между массовым расходом продукта и выходным сигналом датчика. С другой стороны, учитывая случайный характер изменения расхода, и для повышения точности датчик должен обеспечить такие параметры ка-

чества в переходном режиме работы, как минимальное время переходного процесса, максимальное быстродействие, заданный уровень перерегулирования.

Наиболее просто сформулированные требования к датчику можно реализовать посредством центробежных расходомеров с использованием момента сил Кориолиса. Конструкция датчика центробежного расходомера описана в исследованиях [1].

Настоящая работа посвящена анализу потенциальных возможностей двигателя постоянного тока при использовании его в качестве датчика – первичного преобразователя крутящего момента систем измерения расхода сыпучих сельскохозяйственных материалов в потоке. Анализ проводится с детерминистских позиций. Методологической основой служат основные положения теории расходомеров, электрических машин, автоматического регулирования, автоматизированного электропривода [2-5].

Электромеханические процессы в двигателе постоянного тока. Датчик расходомера на базе электрической машины является электромеханическим преобразователем, преобразующим момент на

валу в механическую или электрическую величину.

Электрохимические процессы при условии сохранения постоянства магнитного потока возбуждения описываются следующей системой уравнений:

$$U_{\text{я}} = C\omega + I_{\text{я}}R_{\text{я}} + L_{\text{я}} \frac{dI_{\text{я}}}{dt}; \quad (1)$$

$$M = CI_{\text{я}}; \quad (2)$$

$$M - M_c = J_{\Sigma} \frac{d\omega}{dt}, \quad (3)$$

где $U_{\text{я}}$, $I_{\text{я}}$, $R_{\text{я}}$, $L_{\text{я}}$ – напряжение и ток якорной цепи, сопротивление и индуктивность обмотки якоря двигателя постоянно-го тока соответственно;

M – момент, развиваемый двигателем;

ω – скорость двигателя;

M_c и J_{Σ} – соответственно, момент

сопротивления движению и суммарный момент инерции, приведенные к валу двигателя, обусловленные наличием турбинки на валу двигателя и моментом инерции якоря без учета влияния материала, расход которого измеряется;

$C = k\Phi$ – машинная постоянная при $\Phi = \text{const}$,

где k – конструктивная постоянная двигателя;

Φ – магнитный поток возбуждения.

Электромагнитная и механическая инерционности двигателя постоянного тока характеризуются, соответственно, электромагнитной

$$T_{\text{я}} = \frac{L_{\text{я}}}{R_{\text{я}}} \quad (4)$$

и электрохимической

$$T_M = \frac{J_{\Sigma} R_{\text{я}}}{C^2} \quad (5)$$

постоянными времени.

Совместное решение уравнений (1)-(5) приводит к выражению

$$T_M T_{\text{я}} \frac{d^2\omega}{dt^2} + T_M \frac{d\omega}{dt} + \omega = \frac{U_{\text{я}}}{C} - \frac{R_{\text{я}} M_c}{C^2}, \quad (6)$$

правая часть которого представляет собой установившееся значение скорости двигателя:

$$\omega_{\text{уст}} = \frac{U_{\text{я}}}{C} - \frac{R_{\text{я}} M_c}{C^2}. \quad (7)$$

Система уравнений (1)-(3) может быть записана в операторной форме:

$$U_{\text{я}} = C\omega + I_{\text{я}}R_{\text{я}}(T_{\text{я}}p + 1); \quad (8)$$

$$M = CI_{\text{я}}; \quad (9)$$

$$M - M_c = \frac{C^2}{R_{\text{я}}} T_M p \omega. \quad (10)$$

Правая часть уравнения (10), характеризующая механическую часть датчика с постоянной времени T_M , представляет собой интегрирующее звено.

Уравнение (9) описывает электромагнитное преобразование энергии и является пропорциональным звеном с коэффициентом передачи C , в соответствии с которым момент двигателя пропорционален току якоря.

Инерционным звеном с постоянной времени $T_{\text{я}}$ в соответствии с (8) описывается электрическая цепь якоря двигателя. Выражение (8) есть закон изменения тока якоря в зависимости от величины $(U_{\text{я}} - C\omega)$, где $C\omega = E_{\text{я}}$ – ЭДС якоря. ЭДС якоря не является элементом системы регулирования, отражает физические процессы в двигателе и может быть учтена в виде внутренней отрицательной обратной связи.

Система уравнений (8)-(10) при представлении их соответствующими типовыми звеньями позволяет построить структурную схему двигателя постоянного тока независимого возбуждения, изображенную на рисунке 1.

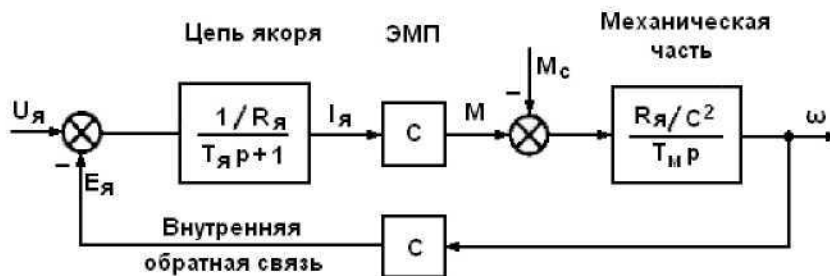


Рис. 1. Структурная схема двигателя постоянного тока независимого возбуждения

Передаточная функция скорости по управляющему воздействию (напряжение якоря) в соответствии со структурной схемой на рисунке 1 имеет вид

$$W(p)_{U_{\text{я}} \rightarrow \omega} = \frac{\omega(p)}{U_{\text{я}}(p)} = \frac{1/C}{T_M T_{\text{я}} p^2 + T_M p + 1} \quad (11)$$

Основное уравнение движения дает формулу для расчета переходной характеристики по току

$$I_{\text{я}} = I_C + \frac{J \sum}{C} \frac{d\omega(t)}{dt} = I_C + I_{\text{дин}}, \quad (12)$$

где $I_C = M_C / C$ – статическая составляющая тока,

$I_{\text{дин}}$ – динамическая составляющая тока.

Передаточную функцию тока по единичному управляющему воздействию также можно определить по структурной схеме на рисунке 1:

$$W(p)_{U_{\text{я}} \rightarrow I_{\text{я}}} = \frac{J \sum}{C^2} \frac{p}{T_M T_{\text{я}} p^2 + T_M p + 1} + I_C(p) \quad (13)$$

Характер изменения тока и скорости во время переходного процесса зависит от вида корней характеристического уравнения

$$T_M T_{\text{я}} p^2 + T_M p + 1 = 0.$$

При $T_M \gg 4T_{\text{я}}$ процесс носит апериодический характер, при $T_M \ll 4T_{\text{я}}$ – колебательный затухающий [6].

Режим холостого хода. В рассматриваемом режиме $M_C = 0$, скорость холостого хода в соответствии с (7) равна $\omega_0 = U_{\text{я}} / C$. При этом ток якоря $I_{\text{я}} = 0$, и в соответствии с (8) приложенное на-

пряжение уравнивается ЭДС якоря $U_{\text{я}} = E_{\text{я}}$.

Режим х.х. двигателя постоянного тока является базовым, своеобразной точкой отсчета, по сравнению с которым осуществляется идентификация параметров работы датчика под нагрузкой.

Режим нагрузки. Рассмотрим случай скачкообразного приложения к валу двигателя нагрузки при неизменном напряжении якорной цепи, т.е. к валу двигателя прикладывается статический момент $M_C = CI_{\text{я}}$. В соответствии с (3) скорость ω начнет снижаться. Будет снижаться и ЭДС якоря $E_{\text{я}} = C\omega$, а ток якоря в соответствии с (1) будет возрастать

$$I_{\text{я}} = \frac{U_{\text{я}} - C\omega - L_{\text{я}} \frac{dI_{\text{я}}}{dt}}{R_{\text{я}}} \quad (14)$$

Колебательный процесс изменения тока якоря обеспечен при большой индуктивности якорной цепи $T_{\text{я}} \gg \frac{1}{4} T_M$. Если индуктивность цепи якоря мала, то процесс снижения скорости при приложении нагрузки имеет монотонный экспоненциальный характер.

Поскольку возмущающим воздействием на якорь двигателя является продукт, расход которого измеряется, то удобно преобразовать структурную схему на рисунке 1 так, чтобы входным воздействием являлся статический момент M_C .

В результате известных преобразований [7] структурная схема на рисунке 1 получает вид, представленный на рисунке 2.

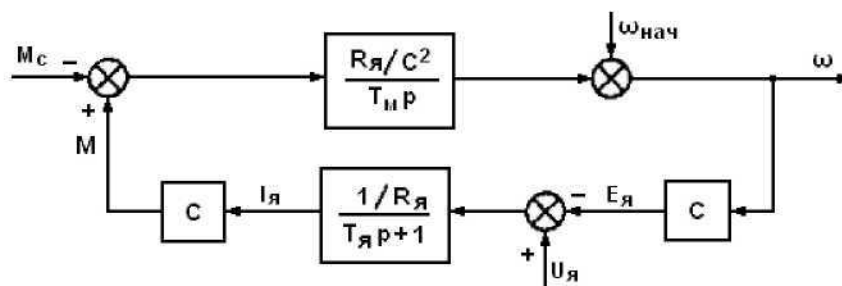


Рис. 2. Структурная схема двигателя постоянного тока независимого возбуждения при приложении единичного момента сопротивления

При $U_{\text{я}} = \text{const}$ передаточная функция по возмущающему воздействию M_c выглядит следующим образом:

$$W(p)_{M_c \rightarrow \Delta\omega} = -\frac{\frac{R_{\text{я}}}{C^2 T_M p}}{\frac{R_{\text{я}} C C}{C^2 T_M p R_{\text{я}} (T_{\text{я}} p + 1)} + 1}, \quad (15)$$

или, приняв $C^2 / R_{\text{я}} = \beta$, где β – жесткость механической характеристики двигателя

$$W(p)_{M_c \rightarrow \Delta\omega} = -\frac{1}{\beta} \frac{T_{\text{я}} p + 1}{T_M T_{\text{я}} p^2 + T_M p + 1}. \quad (16)$$

Анализ (16) показывает, что при приложении нагрузки M_c скорость двигателя снизится на величину $\Delta\omega$, и по окончании переходного процесса установившаяся статическая ошибка будет прямо пропорциональна приложенному моменту и обратно пропорциональна жесткости механической характеристики двигателя:

$$\Delta\omega = \frac{M_c}{\beta}. \quad (17)$$

С уменьшением скорости уменьшается и ЭДС якоря, что приводит к возрастанию тока якоря. При снятии нагрузки процесс повторяется в обратной последовательности.

Анализ режима работы двигателя постоянного тока под нагрузкой показывает, что при изменении момента изменяется не только скорость, но и ток якоря, а также его ЭДС. Кроме того, в рассматриваемом режиме работы существенное влияние на основной магнитный поток оказывает реакция якоря, т.е. основной магнитный также при изменении нагрузки претерпевает изменение. В настоящее время для оценки влияния нагрузки используется лишь изменение скорости с помощью тахогенератора, в котором имеет место преобразование энергии типа «скорость – ЭДС тахогенератора» – процесс, характеризующийся определенной инерционностью и связанный с неоднократным преобразованием энергии.

В связи с этим для повышения точности целесообразно использовать ту переменную, которая обеспечивает наименьшее значение постоянной времени переменной на выходе системы при изменении нагрузки, что является предметом отдельного исследования.

Потенциальные возможности двигателя постоянного тока как датчика в настоя-

щей работе представлены с детерминистских позиций. В действительности расход материалов и, следовательно, момент на валу двигателя-датчика носят случайный характер.

Случайный характер изменения нагрузки вносит изменения в поведение выходных переменных, но не меняет основные закономерности, изложенные выше.

Выводы

1. Точность измерения расхода сыпучих сельскохозяйственных материалов определяется, в том числе, и быстродействием первичного преобразователя момента, т.е. лимитируется выходной переменной с наибольшей постоянной времени.

2. Выходными переменными при изменяющемся моменте сопротивления на валу являются скорость, ток якоря, ЭДС якоря.

3. С целью повышения быстродействия и уменьшения инерционности измерения расхода при изменении момента на валу двигателя постоянного тока выходная переменная должна обладать минимальной постоянной времени, что может быть определено только после сравнения постоянных времени на возмущающее воздействие системы с учетом случайного характера изменения момента на валу.

Библиографический список

1. Багаев А.А. Использование момента Кориолисовых сил для измерения массового расхода потока зерна и продуктов его размола / А.А. Багаев, В.Г. Лукьянов, Р.С. Чернущ // Вестник Алтайского аграрного университета. 2008. № 4 (42). С. 47-49.
2. Луткин Н.И. Расходомеры для зерна и сыпучих материалов / Н.И. Луткин. М.: Колос, 1969. 184 с.
3. Вольдек А.И. Электрические машины / А.И. Вольдек. Л.: Энергия, 1974. 840 с.
4. Востриков А.С. Теория автоматического регулирования: учеб. пособие / А.С. Востриков, Г.А. Французова. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2006. 368 с.
5. Онищенко Г.Б. Электрический привод / Г.Б. Онищенко. М.: Издательский центр «Академия», 2006. 288 с.
6. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники / Л.А. Бессонов. М.: Высш. школа, 1973. 752 с.
7. Иващенко Н.Н. Автоматическое регулирование. Теория и элементы систем. / Н.Н. Иващенко. М.: Машиностроение, 1973. 606 с.