

## ИССЛЕДОВАНИЕ И ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО ТАХОМОСТА

Худобин Н. В., Шевченко А. К., Соловов В. Е.

*Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенко*

*Рассматриваются исследования и выбор оптимального тахомоста для создания высококачественной системы автоматического регулирования движения двигателей постоянного тока при подаче сыпучих материалов.*

**Постановка проблемы.** Управление двигателем ленточного питателя в системе автоматического дозирования сыпучими материалами связано с проблемой стабилизации скорости вращения электродвигателей постоянного тока (построение инвариантной системы к изменению нагрузки на валу электродвигателя).

**Анализ последних исследований и публикаций.** Современные датчики скорости имеют существенный недостаток – отсутствие универсальности.

Такой недостаток можно исключить, применив схему тахомоста, рассчитанного для двигателей любой мощности. Особенностью предложенной схемы является (рис. 1) способ формирования обратной связи по току. Он основан на использовании особенности схемы управления приводом постоянного тока независимого возбуждения при питании его пульсирующим напряжением [2]: при увеличении нагрузки возрастает переменная составляющая якоря.

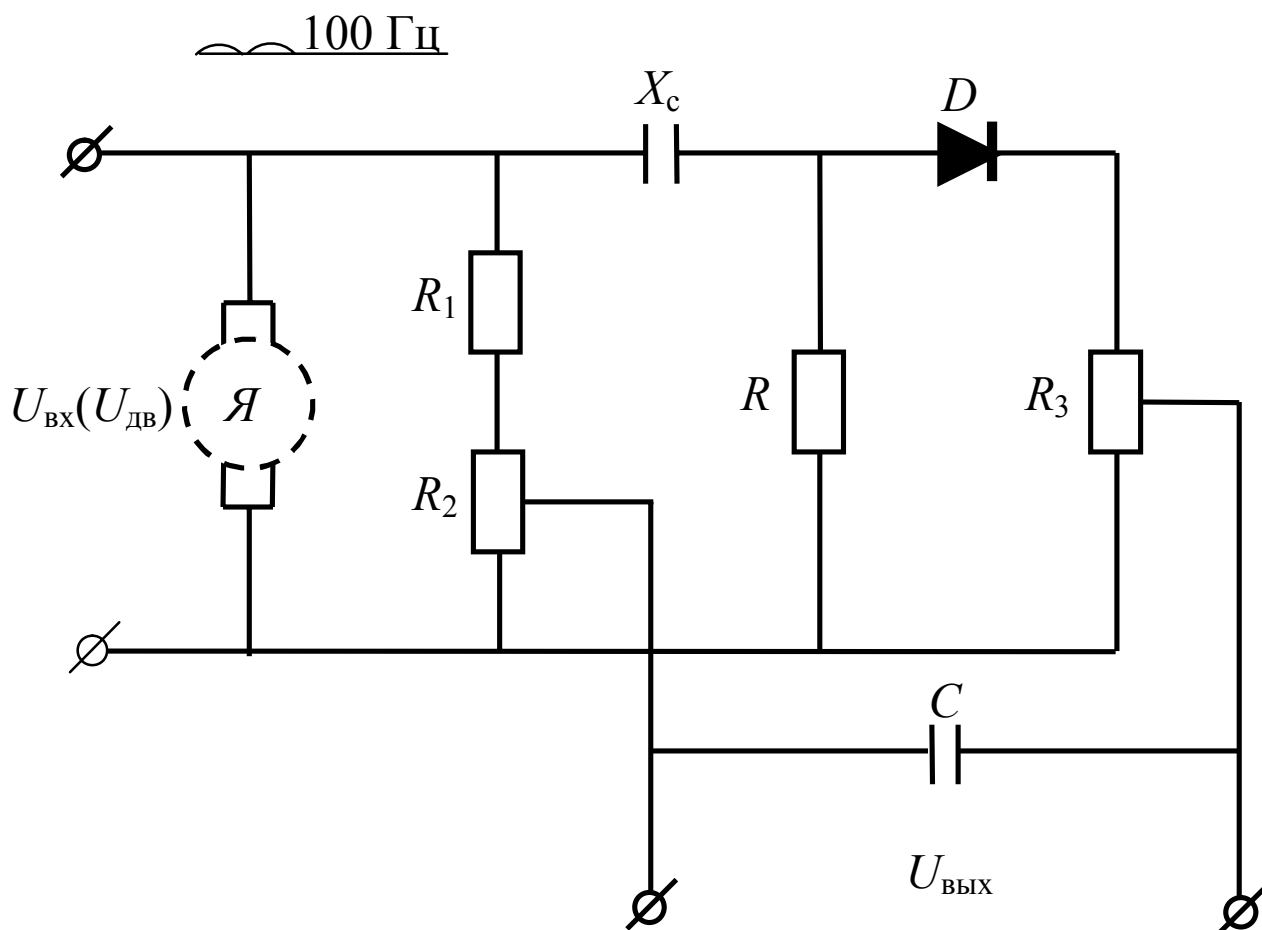


Рисунок 1 – Схема тахомоста электрическая

**Цель статьи.** Выбор оптимального тахомоста и определение его передаточной функции для создания высококачественной системы автоматического регулирования подачи сыпучих материалов.

**Основные материалы исследований.** Предложенный тахомост входит в цепь обратной связи замкнутой автоматической системы дозирования сыпучих материалов. При большой величине коэффициента

усиления разомкнутого контура динамические свойства тахомоста существенно влияют на устойчивость и качество регулирования системы в целом.

*Статическая характеристика тахомоста.* Выходное напряжение тахомоста относительно некоторого базисного значения определяется по следующей формуле (рисунок):

$$U_{\text{вых}} = U_3 - U_2, \quad (1)$$

где

$$U_2 = \frac{U_{\text{д}}(U_{\text{вх}})R_2}{R_1 + R_2}. \quad (2)$$

Известно [1], что:

$$U_{\text{д}} = C_{\text{е}}n + J_{\text{я}}r_{\text{я}}. \quad (3)$$

В случае питания якоря двигателя постоянного тока пульсирующим напряжением:

$$J_{\text{до}} = \frac{J_{\text{ям}}}{\pi} \int_0^{\alpha} \sin \alpha = \frac{J_{\text{ям}}}{\pi} (1 + \cos \alpha). \quad (4)$$

Подставив выражение (4) в (3), получим:

$$J_{\text{до}} + C_{\text{е}}n + \frac{J_{\text{ям}}}{\pi} (1 + \cos \alpha)r_{\text{я}}; \quad (5)$$

$U_3$  можно выразить следующим образом:

$$U_3 = \frac{U_{\sim}R_3}{R_3 + X_{\text{с}}}, \quad (6)$$

где

$$U_{\sim} = U_{\text{од}}S_{\alpha} [3]. \quad (7)$$

Подставив выражение (7) в (6), имеем:

$$U_3 = \frac{U_{\text{од}}S_{\alpha}R_3}{R_3 + X_{\text{с}}}. \quad (8)$$

Подставив выражение (2) и (8) в уравнение (1), находим:

$$U_{\text{вых}} = U_{\text{од}} \left( \frac{S_{\alpha}R_3}{R_3 + X_{\text{с}}} - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right). \quad (9)$$

Из условия равновесия моста [1] следует:

$$X_{\text{с}} = \frac{R_1R_3}{R_2}. \quad (10)$$

Подставив выражение (10) в (9), получим значе-

ние выходного напряжения тахомоста:

$$U_{\text{вых}} = \frac{U_{\text{од}}(S_{\alpha} - 1)R_2}{R_1 + R_2}. \quad (11)$$

*Динамическая характеристика тахомоста.* Приращение выходного напряжения тахомоста определяется по формуле:

$$\Delta U_{\text{вых}} = \Delta U_3 - \Delta U_1. \quad (12)$$

Можно показать, что при постоянном по величине моменте нагрузки на валу двигателя приращения потенциалов равны:

$$\Delta U_3 = \Delta U_{\text{вх}} (\Delta U_{\text{од}}) \left( 1 - \frac{R_0}{r_{\text{я}}} \cdot \frac{\rho T_{\text{м}}}{1 + \rho T'_{\text{м}}} \right) \quad (13)$$

и

$$\Delta U_1 = \Delta U_{\text{вх}} \frac{R_2}{R_1 + R_2}, \quad (14)$$

где  $\Delta U_3$ ,  $\Delta U_1$ ,  $\Delta U_{\text{вх}}$  - изображения действующих в схеме сигналов по Лапласу;

$T_{\text{м}}$  - электромеханическая постоянная времени двигателя, определяемая паспортными данными и приведенным моментом инерции нагрузки;

$$T'_{\text{м}} = T_{\text{м}} \left( 1 + \frac{X_{\text{с}}}{R_3} \right) = T_{\text{ма}} - \text{электромеханическая}$$

постоянная времени двигателя, зависящая от схемы включения.

Подставляя выражения (13), (14) в преобразованное по Лапласу уравнение (12), находим:

$$\Delta U_{\text{вых}} = \Delta U_{\text{вх}} K_{\text{м}} (\Delta U_{\text{од}}) \frac{1 + \rho T_{\text{м}} A}{1 + \rho T'_{\text{м}}}, \quad (15)$$

где  $K_{\text{м}} = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$  - коэффициент передачи та-

хомоста;

$$A = \frac{R_1R_3 - R_2X_{\text{с}}}{R_1R_3} - \text{коэффициент расстройки та-$$

хомоста.

Передаточная функция имеет следующий вид:

$$W_{\text{м}}(\rho) = \frac{\Delta U_{\text{вых}}}{\Delta U_{\text{вх}}} = K_{\text{м}} \frac{1 + \rho T_{\text{м}} A}{1 + \rho T'_{\text{м}}}. \quad (16)$$

В системе могут реально существовать три частных случая [4]:

1) мост сбалансирован, т.е.  $R_1R_2 = R_2X_{\text{с}}$  и  $A = 0$ ,

тогда  $W_M(\rho) = \frac{K_M}{1 + \rho T'_M}$  и тахомост представляет собой устойчивое инерционное звено;

2) мост разбалансирован так, что  $R_1 R_2 > R_2 X_c$  и  $A > 0$ , тогда:

$$W_M(\rho) = K_M \frac{1 + \rho T_M A}{1 + \rho T'_M}$$

и тахомост представляет собой упругое инерционно-форсирующее звено;

3) мост сбалансирован так, что  $R_1 R_3 < R_2 X_c$  и  $A < 0$ , тогда:

$$W_M(\rho) = K_M \frac{1 + \rho T_M |A|}{1 + \rho T'_M} \quad (17)$$

и тахомост оказывается устойчивым неминимально-фазовым звеном первого порядка.

Поскольку тахомост находится в цепи обратной связи системы автоматического дозирования, последний случай является наиболее опасным, с точки зрения, нарушения условия устойчивости системы стабилизации дозирования. Действительно, при достаточно большом коэффициенте усиления разомкнутого контура (определяемого требуемой точностью регулирования) передаточная функция замкнутого контура будет:

$$W_3(\rho) \cong \frac{1}{W_M(\rho)} = \frac{1}{K_M} \cdot \frac{1 + \rho T'_M}{1 - \rho T_M |A|}$$

и система в целом из-за расстройки тахомоста оказывается неустойчивой.

Одним из способов коррекции контура автоматической стабилизации скорости электродвигателя является уничтожение неминимальной фазовости тахомоста при всех его расстройках в допустимых пределах.

С этой целью в состав тахомоста вводится корректирующая емкость. В нашей схеме такой емкостью служит емкость фильтра  $C$  (см. рисунок).

Передаточная функция скорректированного тахомоста имеет вид:

$$W_{MK}(\rho) = \frac{\Delta U_{\text{ВЫХ}}}{\Delta U_{\text{ВХ}}} = K_M \frac{\rho^2 T_M \tau_K + \rho(\tau_K + AT_M) + 1}{(1 + \rho T'_M)(1 + \rho K_M \tau_K)},$$

где  $\tau_K$  - корректирующая постоянная времени.

Практически величина  $(A) < 0,05$ , поскольку тахомост является измерительным устройством. Следовательно, подобная коррекция легко осуществима.

Обычно в целях обеспечения требуемого качества стабилизации скорости и системы дозирования величина  $\tau_K \gg AT_M$  и поэтому передаточная функция скорректированного тахомоста может быть представлена в виде:

$$W_{MK}(\rho) = \frac{\Delta U_{\text{ВЫХ}}}{\Delta U_{\text{ВХ}}} = K_M \frac{\rho^2 T_M \tau_K + \rho \tau_K + 1}{(1 + \rho T'_M)(1 + \rho K_M \tau_K)}. \quad (18)$$

**Выводы.** На основании выполненных расчетов предложена электрическая схема тахомоста, которая позволяет создать инвариантную систему к изменению нагрузки на валу электродвигателя.

Этим решается проблема стабилизации скорости вращения электродвигателей постоянного тока при дозировании питателей сыпучими материалами.

Таким образом устраняются недостатки современных датчиков скорости.

#### Список использованных источников

1. Березниковский С. Ф. Автоматическое регулирование и управление электрическими машинами / С. Ф. Березниковский – Л.: Судостроение, 1984. – 419 с.
2. Авт. свид. № 248058 Стабилизатор напряжения / Ю. О. Абугов, Ю. М. Брагин, К. И. Диденко // Бюллетень изобретений, 1970. – № 32. – С.19-71.
3. Белопольский И. И. Проектирование источников электропитания радиоаппаратуры / И. И. Белопольский, Г. В. Гейман, Л. А. Краус – М.: Энергия, 1977. – 303 с.
4. Нетушила А. В. Теория автоматического управления. / А. В. Нетушила. – К.: Высшая школа, 1998. – 366 с.

#### Анотація

#### ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ВИБІР ОПТИМАЛЬНОГО ТАХОМОСТА

Худобін М. В., Шевченко А. К.,  
Соловов В. Є.

*Розглядаються дослідження та вибір оптимального тахомоста для створення високоякісної системи автоматичного регулювання руху двигунів постійного струму при подачі сипучих матеріалів.*

#### Abstract

#### RESEARCH AND CHOICE OF OPTIMAL TACHOBRIDGE

N. Khodobin, A. Shevchenko, V. Solovov

*Research and choice of optimal tachobridge for making high-quality automatic direct current motors movement control system under the friable material feeding.*