

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА СКИПОВОЙ ПОДЪЁМНОЙ УСТАНОВКИ

*Котляр А.В., магистрант, alex\_aly@mail.ru*  
*Ставицкий В.М., к.т.н., доцент, dis\_stv@ukr.net*  
*Донецкий национальный технический университет,*  
*м. Красноармійськ, Україна*

Для современного промышленного производства характерно широкое внедрение автоматизированного электропривода – основы механизации и комплексной автоматизации технологических процессов. Совершенствование систем автоматизированного электропривода с использованием новейших достижений науки и техники является одним из неперенных условий при решении задач всемерного повышения эффективности промышленного производства.

Таким образом, ставится следующая задача: разработка математической модели скиповой подъёмной установки для исследования динамических процессов при помощи средств ЭВМ. Математическая модель составляется на базе системы дифференциальных уравнений, построенных по законам Кирхгофа, при некоторых допущениях: применение независимого возбуждения, реакция якоря полностью скомпенсирована, вихревые токи в станине и полюсах двигателя пренебрежимо малы, сопротивления цепей постоянны [1].

Двигатель постоянного тока условно можно разделить на две части: электромагнитную и механическую. Передаточная функция по управляющему воздействию для якорной цепи двигателя имеет вид:

$$W_1(p) = \frac{1/R}{T_{\text{я}}p + 1}$$

где  $T_{\text{я}} = L/R$  – электромагнитная постоянная времени якорной цепи.

Передаточная функция для механической части двигателя:

$$W_2(p) = \frac{Rc_{\text{д}}}{T_{\text{м}}p}$$

где  $T_{\text{м}} = J \cdot R / c_{\text{д}}^2$  – электромеханическая постоянная двигателя.

В соответствии с этими передаточными функциями может быть изображена структурная схема системы управления УВ-Д (рис. 1). Условные обозначения на рисунке: U – тиристорный преобразователь; M – двигатель постоянного тока; AA – регулятор тока; AR – регулятор скорости; Ф – формирователь задающего воздействия; МПР – микропроцессорный регулятор.

Регулятор скорости выполнен по схеме П-регулятора, а регулятор тока – ПИ-регулятора.

Система автоматического регулирования имеет в своем составе 2 контура. Контур тока является объектом для контура скорости. Поддержание

заданной скорости осуществляется при минимизации потребляемого тока. Если  $U_\phi = U_z$ , то не только не будет управляющего воздействия, но и сформируется задание на нулевой ток двигателя.

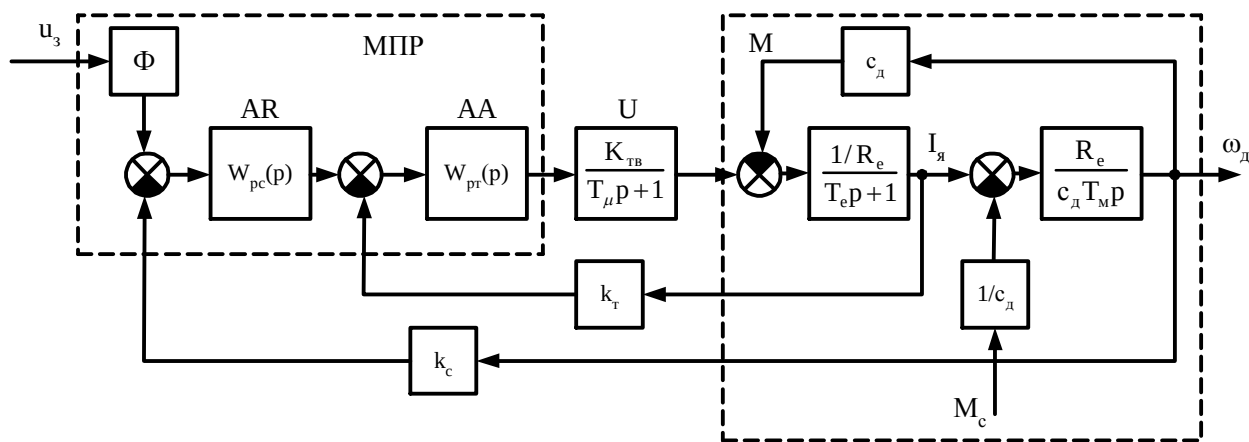


Рисунок 1. Структурная схема системы подчиненного регулирования УВ-Д

При синтезе регулятора тока необходимо сделать еще одно допущение: во многих случаях, когда электрохимическая постоянная времени  $T_m \geq 4T_\mu$ , обратной связью по ЭДС можно пренебречь.

Объектом управления внутреннего контура служит тиристорный преобразователь, а объектом регулирования – двигатель с входом по напряжению якорной цепи и выходом по току.

Регулятор тока получен с пропорционально-интегральной зависимостью выходного сигнала от входа (ПИ-регулятор).

Объект регулирования внешнего контура скорости – двигатель со входом по току якоря и выходом по скорости и замкнутый контур тока с передаточной функцией:

$$W_{z.km}(p) = \frac{1/k_m}{T_\mu p + 1} \quad (1)$$

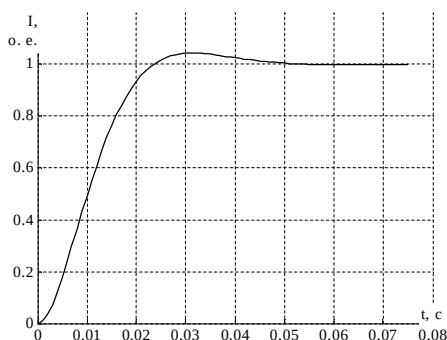


Рисунок 2. Переходная характеристика контура тока, настроенного по модульному оптимуму

Переходная характеристика контура тока приведена на рис. 2. Единичное ступенчатое воздействие обрабатывается контуром тока со следующими показателями качества: перерегулирование  $\sigma = 4.3\%$ ; время первого согласования  $t_c = 4.71T_\mu$ ; время регулирования  $t_p = 8.4T_\mu$ .

В (1) постоянная времени  $T_{\mu 1} = 2T_\mu$  для контура скорости мала, ее действие регулятором не компенсируется. Передаточная функция замкнутого контура скорости определяется выражением:

$$W_{з.к\sigma}(p) = \frac{1/k_c}{2T_{\mu 1}p[T_{\mu 1}p(T_{\mu}p+1)+1]+1}$$

Переходная характеристика контура скорости аналогична приведенной на рис. 2. Единичное ступенчатое воздействие отрабатывается контуром тока со следующими показателями качества: перерегулирование  $\sigma = 4.3\%$ ; время первого согласования  $t_c = 4.71T_{\mu 1}$ ; время регулирования  $t_p = 8.4T_{\mu 1}$ .

Применение в контуре скорости П-регулятора с настройкой контура на модульный оптимум обеспечивает приемлемое качество воспроизведения заданных воздействий. Однако отработка возмущений приводит к появлению статической ошибки по скорости. Эта ошибка может быть очень значительной, что очень нежелательно для подъемной установки, так как приводит к потере производительности [2].

Для устранения установившейся ошибки регулирования скорости применяют ПИ-регулятор скорости с настройкой на симметричный оптимум. Передаточная функция ПИ-регулятора скорости выглядит следующим образом:

$$W_{пи-р\sigma}(p) = \frac{c_d T_m k_m}{2T_{\mu 1} R_e k_c} \frac{4T_{\mu 1}p+1}{4T_{\mu 1}p} = k_{р\sigma} \frac{4T_{\mu 1}p+1}{4T_{\mu 1}p}$$

Настройка контура на симметричный оптимум характеризуется значительной колебательностью с перерегулированием до 50%. Кривая переходного процесса при настройке контура скорости на симметричный оптимум приведена на рис.3 (кривая 1). Она характеризуется временем нарастания  $t_c = 3.1T_{\mu 1}$  и временем регулирования  $t_p = 16.5T_{\mu 1}$ .

Для снижения перерегулирования на входе контура применяют фильтр с передаточной характеристикой:

$$W_{\phi}(p) = \frac{1}{T_{\phi}p+1}$$

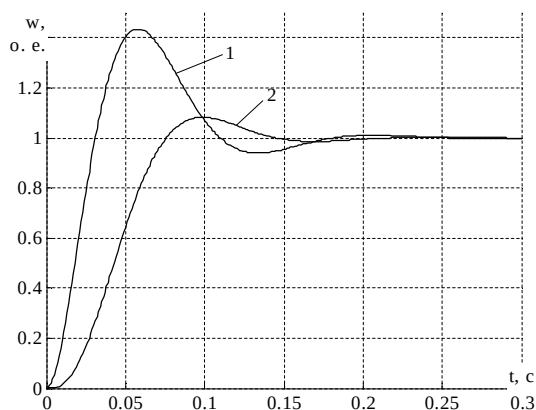


Рисунок 3. Переходные процессы в системе с ПИ-регулятором скорости, настроенном на симметричный оптимум

Постоянная времени фильтра  $T_{\phi} = 4T_{\mu 1}$ . Это значение является оптимальным. При увеличении постоянной времени фильтра можно получить аperiodический характер изменения скорости, однако при этом значительно возрастает время регулирования. Переходный процесс в контуре скорости приведен на рис. 3 (кривая 2). Переходный процесс характеризуется временем нарастания  $t_c = 7.6T_{\mu 1}$ , перерегулированием  $\sigma = 8.1\%$ , временем регулирования  $t_p = 11.7T_{\mu 1}$ . Эти показате-

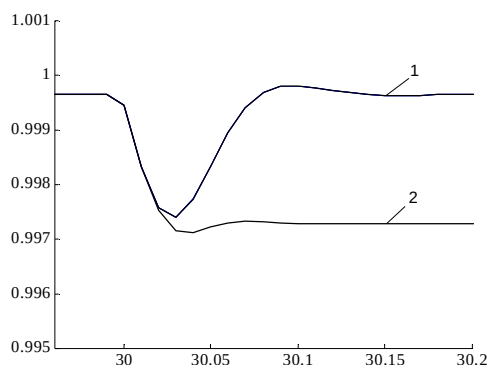


Рисунок 4 – Динамика скорости при ударном приложении нагрузки: 1) в системе с ПИ-РС, 2) в системе с П-РС

тели соответствуют технически оптимальным системам.

На рис. 4 приведен переходный процесс установления скорости в системе управления с П- и ПИ регулятором скорости при ударном приложении нагрузки.

Как видно из рисунка произошло снижение скорости на 0,3%. Для шахтных подъемных установок эта величина является существенной, ввиду важности объекта и высоким требованиям по точности отработки заданной диаграммы скорости, предъявляемым к нему.

### Література

1. Чиликин М.Г., Сандлер А.С. Общий курс электропривода. – М., Энергоиздат, 1981. – 576 с.
2. Ключев. Теория электропривода. Учебник для вузов. — 2-е изд., испр. и доп. — М.: Энергоатомиздат, 1998. - 704 с.

### Анотація

Представлено математичну модель скіпової підйомної установки, структурну схему системи підпорядкованого регулювання УВ-Д. Розглянуто синтез регуляторів швидкості та струму, наведені перехідні характеристики контурів швидкості та струму.

Ключові слова: математична модель, регулятор, перехідна характеристика.

### Аннотация

Представлена математическая модель скиповой подъёмной установки, структурная схема системы подчиненного регулирования УВ-Д. Рассмотрен синтез регуляторов скорости и тока, приведены переходные характеристики контуров скорости и тока.

Ключевые слова: математическая модель, регулятор, переходная характеристика.

### Abstract

A mathematical model of the skip hoist, a block diagram of a slave control HC-D. The synthesis of speed and current regulators, given the transient response of the speed loop and current.

Keywords: mathematical model, the regulator transient response.