

ЦИФРОВАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ЧАСТОТНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Ребенков Е.С., Майорова Н.Д.

Новомосковский институт (филиал) РХТУ имени Д.И. Менделеева,
г. Новомосковск, Россия

Аннотация. Составлена математическая модель системы автоматического управления частотного электропривода подъема груза в аналоговой и цифровой формах. Синтезирован цифровой регулятор демпфирования колебаний скорости перемещения груза. Приведены переходные процессы координат привода с регулятором.

Ключевые слова: цифровая модель, демпфирование колебаний, цифровой регулятор, передаточная функция.

Цифровые системы автоматического управления имеют ряд преимуществ перед аналоговыми системами. К таким преимуществам относятся возможность применения цифровых вычислительных машин в качестве регуляторов динамических процессов, возможность получения практически любых алгоритмов управления при синтезе регуляторов, повышенная помехоустойчивость систем управления, высокая точность настройки параметров регуляторов, а также возможность при синтезе цифровых систем управления применять конформное Z-преобразование, позволяющее, в частных случаях, получать системы с конечной длительностью переходного процесса, чего нет в аналоговых системах.

В данной работе проведен синтез цифрового регулятора демпфирования колебаний, возникающих при подъеме груза соединенного тросом с ротором асинхронного частотноуправляемого двигателя. Структурная схема электропривода подъема показана на рис. 1.

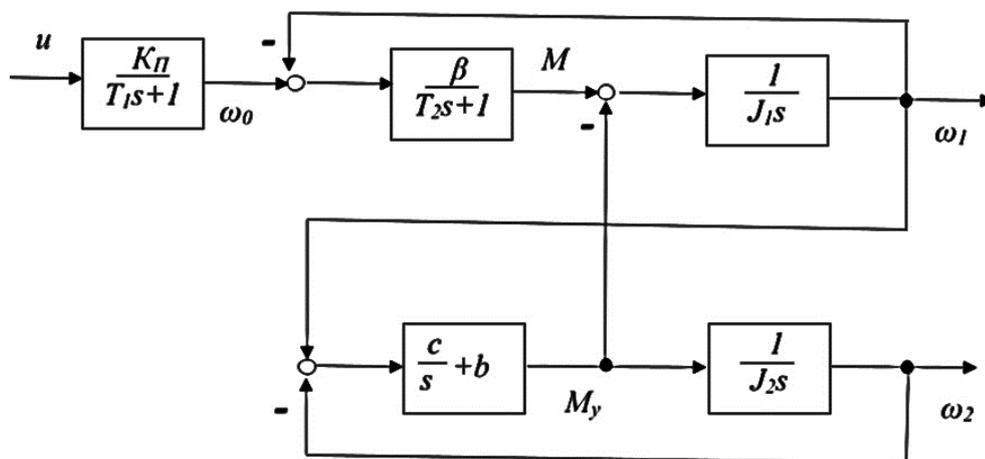


Рис. 1 Структурная схема электропривода подъема

Трос имеет конечные значения жесткости c и вязкости b . Демпфирование скорости перемещаемого груза достигается изменением скорости ротора двигателя по алгоритму, заданному разработанным цифровым регулятором. Изменение скорости ротора в переходном процессе регулирования осуществляется изменением напряжения управления преобразователя частоты, от которого питается асинхронный двигатель.

Преобразователь частоты формирует на выходе частоту ω_0 напряжения, подаваемого на двигатель; уравнение в операторной форме имеет вид:

$$\omega_0(s) = u(s) \cdot K_{II}(T_1s + 1), \quad (1)$$

где K_{II}, T_1 – соответственно коэффициент усиления и постоянная времени преобразователя, $u(s)$ – напряжение управления преобразователем частоты.

Асинхронный двигатель создает вращающий момент ротора:

$$M(s) = [\omega_0(s) - \omega_1(s)] \cdot \beta / (T_2s + 1), \quad (2)$$

где β – динамическая жесткость механической характеристики двигателя, T_2 – электромеханическая постоянная двигателя, $\omega_1(s)$ – операторное значение скорости ротора, определяемое соотношением:

$$\omega_1(s) = [M(s) - M_y(s)] / J_1s, \quad (3)$$

где J_1 – момент инерции ротора двигателя с учетом редуктора, $M_y(s)$ – операторный момент упругости, возникающий на тросе и равный:

$$M_y(s) = [\omega_1(s) - \omega_2(s)] \cdot (c/s + b), \quad (4)$$

где $\omega_2(s)$ – скорость перемещения груза, приведенная к скорости ротора, она равна:

$$\omega_2(s) = M_y(s) / J_2s, \quad (5)$$

где J_2 – приведенный момент инерции груза.

Для заданных значений параметров электропривода: $T_1=0,0015$ с; $T_2=0,023$ с; $\beta=1140$ Н·м·с; $K_{II}=5,91$; $J_1=1620$ кг·м²; $c=12000$ Н·м; $b=0,008$; $J_2=830$ кг·м² с учетом доминирующих полюсов получены передаточные функции электропривода в изображениях по Лапласу [1]:

Для скорости ротора $\omega_1(s)$ по напряжению управления преобразователем $u(s)$:

$$W_1(s) = (2,0696 \cdot s^2 + 0,20877 \cdot s + 40,316) / (s^3 + 0,336 \cdot s^2 + 24,376 \cdot s + 6,8208).$$

Для скорости груза $\omega_2(s)$ по напряжению управления преобразователем $u(s)$:

$$W_2(s) = (3,728 \cdot s^2 + 0,67312 \cdot s + 40,316) / (s^3 + 0,336 \cdot s^2 + 24,376 \cdot s + 6,8208).$$

Используя Z-преобразование получим дискретные передаточные функции скорости ротора $H_1(z)$, скорости груза $H_2(z)$ и изменения деформации троса $Q(z)$:

$$H_1(z) = (0,20291 \cdot z^2 - 0,36492 \cdot z + 0,20091) / N(z), \quad (6)$$

$$H_2(z) = (0,3617 \cdot z^2 - 0,6781 \cdot z + 0,35531) / N(z), \quad (7)$$

$$Q(z) = (0,001 \cdot z^3 + 0,006857 \cdot z^2 + 0,007463 \cdot z - 0,01532) / N(z), \quad (8)$$

$$\text{где } N(z) = z^3 - 2,7287 \cdot z^2 + 2,7019 \cdot z - 0,96695. \quad (9)$$

Структурная схема цифровой системы автоматического управления включает последовательно соединенные квантователь, цифровой регулятор, экстраполятор и передаточную функцию объекта. На выходе системы

подключена отрицательная обратная связь по скорости груза, при этом на регулятор поступает сигнал ошибки регулирования:

$$e(z) = u(z) - \omega_3(z), \quad (10)$$

Передаточная функция регулятора получена при задании на выходе скорости $\omega_3(z)$ в виде неколебательной аperiodической функции:

$$\omega_3(t) = 5,91(1 - e^{-0,28 \cdot t}), \quad (11)$$

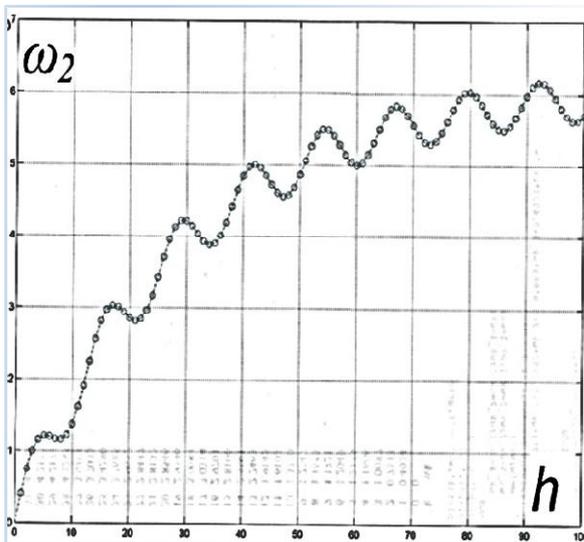
а на входе – единичной ступенчатой функции.

При этом передаточная функция регулятора получена в виде:

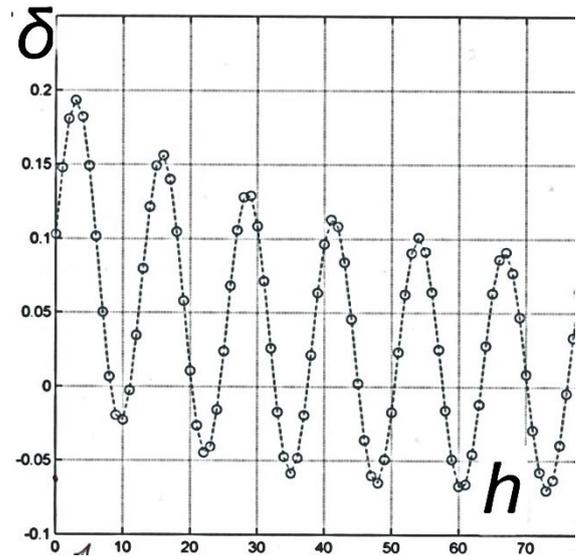
$$R(z) = (0,4512 \cdot z^3 - 1,23105 \cdot z^2 + 1,2191 \cdot z - 0,43629) / (z^3 - 3,0105 \cdot z^2 + 3,1114 \cdot z - 1,11554). \quad (12)$$

Шаг дискретизации переменных координат системы принят равным $h=0,1$ с.

На рис. 2а,б показаны переходные процессы скорости перемещения груза ω_2 в системе без регулятора а) и переходный процесс изменения деформации δ в системе без регулятора б). Эти переходные функции имеют колебательный характер.



а)



б)

Рис. 2 Переходные процессы скорости груза а) и деформации б) в электроприводе без регулятора.

На рис.3 приведены переходные функции скорости ротора ω_1 , скорости груза, деформации троса δ , ошибки регулирования e и напряжения на выходе регулятора u в системе электропривода с регулятором.

Графики приведены в относительных единицах к своим установившимся значениям. Графики производных ошибки регулирования e' и e'' приведены для исследования переходных функций при изменении сигнала управления преобразователя частоты по синусоидальному закону начиная с момента времени $t=20$ с.

На графике рис.3 видно, что отставание по фазе переменных ω_1 и ω_2 не превышает 35° , что соответствует устойчивости разработанного регулятора [2].

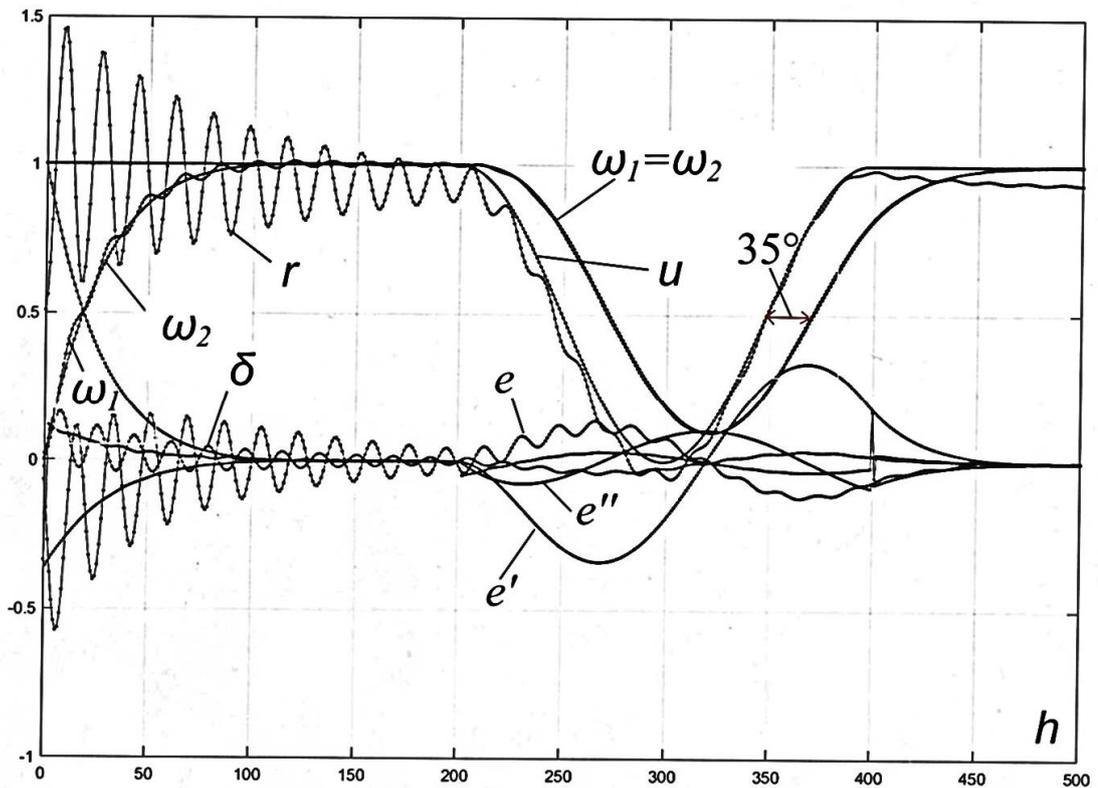


Рис. 3 Переходные процессы координат привода с цифровым регулятором.

Вывод: применение в системе управления разработанного цифрового регулятора полностью демпфирует колебания скорости перемещения груза.

Литература

1. Теория систем автоматического управления / В.А. Бесекерский, Е.П. Попов. – Изд.4-е, перер.и доп. – СПб., Профессия, 2007. – 752 с.
2. Чикуров Н.Г. Моделирование систем и процессов: Учебное пособие. – М.: РИОР: ИНФА – М, 2013. – 398 с.