

УДК 621.3.077

М.Н. Хайретдинова, студент гр. ЭАмд-11 (УлГТУ),  
С.В. Гаврилова, к.т.н., доцент (УлГТУ)  
г. Ульяновск

## РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ РЕДУКЦИЕЙ СУДОПОДЪЕМНОГО СЛИПОВОГО КОМПЛЕКСА

На многих отечественных и зарубежных судостроительных (судоремонтных) предприятиях для перемещения судна при спуске на воду и подъеме на сушу используются судоподъемные комплексы типа слип [4, 5].

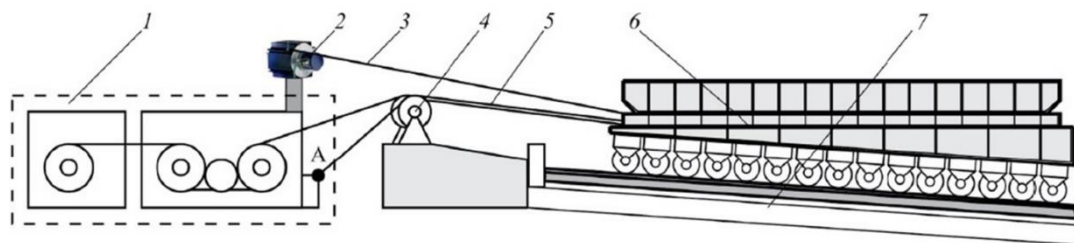


Рис. 1. Схема работы слипа:

1 – блок электропривода; 2 – энкодер; 3 – измерительный трос энкодера; 4 – подвижные блоки; 5 – тросы лебедки; 6 – спусковая тележка; 7 – рельсовые пути слипа; А – место расположения датчика натяжения троса

При проектировании взаимосвязанных систем электропривода слипа в ряде случаев, например при возникновении внештатной ситуации, возникает необходимость вводить регулируемый коэффициент редукции для одного или нескольких согласованных электроприводов. При этом необходимо сохранение принципа согласованности: изменение скорости на одном электроприводе должно быть отражено вторым с учетом установленного коэффициента редукции. В этом случае система будет работать как вариатор, но без механического соединения ведомой и ведущей осей [2, 3, 6].

На рис. 2 представлена структурная схема электропривода с электрической редукцией, позволяющая простыми способами обеспечить регулирование скорости асинхронного двигателя, а также повысить его энергоэффективность и улучшить коэффициент мощности. Входными сигналами в системе являются:  $\omega_{\text{зад}}$  – сигнал задания скорости;  $K_{\text{ред}}$  – сигнал задания редукции;  $M_1$  и  $M_2$  – моменты нагрузки на первый и второй двигатель, соответственно. Выходные сигналы представляют собой:  $\omega_1$  и  $\omega_2$  – скорости вращения первого и второго двигателя, соответственно;  $\omega'_2$  – сигнал по

скорости модели второго двигателя. Звено  $W_1(p)$  представляет электрическую часть ЭП,  $W_2(p)$  – механическую часть ЭП,  $W_3(p)$  – корректирующее звено [2, 3]. Нижняя ветвь на структурной схеме (рис.2) характеризует электронную модель электроприводов первой и второй оси (при этом делается допущение, что их характеристики идентичны) [2, 3].

Система уравнений для передаточных функций от задающего сигнала имеет вид [36, 38]:

$$\begin{cases} \omega_1 = W_1(p) \cdot W_2(p) [\omega_{зад} - W_3(p) \Delta\omega] \\ \omega_2 = K_{ред} W_1(p) \cdot W_2(p) [\omega_{зад} - W_3(p) \Delta\omega] \\ \omega_2' = (K_{ред} - 1) W_1(p) \cdot W_2(p) W_4(p) [\omega_{зад} - W_3(p) \Delta\omega] \\ \Delta\omega = \omega_2 - \omega_2' - \omega_1 \end{cases} \quad (1)$$

Подстановка первых трех уравнений системы в четвертое дает  $\Delta\omega = 0$  при условии, что  $W_4(p) = 1$ .

Передаточные функции системы от задающего сигнала  $\omega_{зад}$  имеют вид:

$$\omega_1 = W_1(p) \cdot W_2(p) \cdot \omega_{зад} \quad (2)$$

$$\omega_2 = K_{ред} W_1(p) \cdot W_2(p) \cdot \omega_{зад} \quad (3)$$

$$\omega_2' = (K_{ред} - 1) W_1(p) \cdot W_2(p) \cdot W_4(p) \cdot \omega_{зад} \quad (4)$$

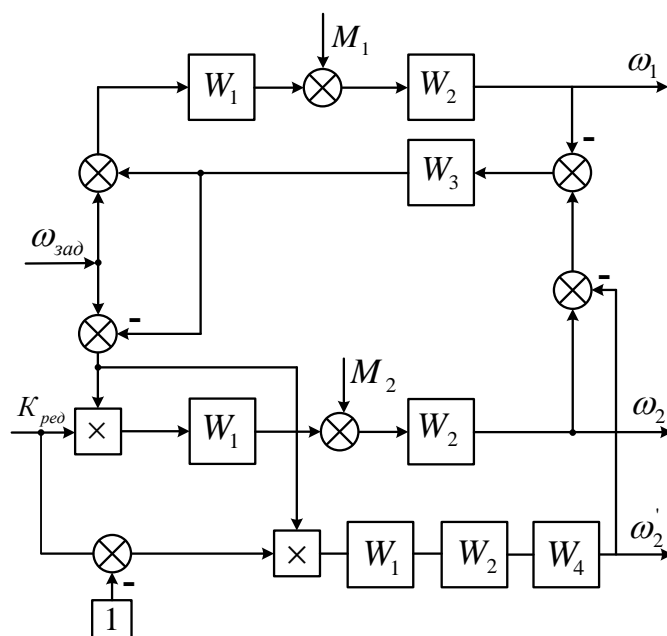


Рис. 2. Структурная схема электропривода с электронной редукцией

Система уравнений для передаточных функций от возмущающего воздействия  $M_i$  имеет вид [2, 3]:

$$\begin{cases} \omega_1 = [W_1 + \Delta\omega \cdot W_3(p) \cdot W_1(p)] \cdot W_2(p) \\ \omega_2 = -\Delta\omega \cdot W_3 \cdot K_{ped} \cdot W_1(p) \cdot W_2(p) \\ \omega_2' = \Delta\omega \cdot W_3(p) \cdot (K_{ped} - 1)W_1(p) \cdot W_2(p)W_4(p) \end{cases} \quad (5)$$

Формирование сигналов  $\omega_1$  и  $\omega_2$  происходит с помощью реальных электромеханических звеньев. Сигнал  $\omega_2'$  формируется с помощью электронной модели. Во время работы в реальных звеньях или модели могут произойти изменения. Это приведет к изменению работы электроприводов. Для оценки этого изменения введем звено  $W_4$  в цепь модели, характеризующее возможные изменения:

$$W_4 = K_4 \frac{T_{41}p+1}{T_{42}p+1} \quad (6)$$

Для оценки системы электроприводов относительно рассматриваемых изменений параметров и выбора пути повышения "грубости" системы были использованы функции чувствительности [1]. Функции чувствительности  $S_{W_i}^W$  передаточной функции  $W(p)$  к звену  $W_i(p)$  определяются выражением:

$$S_{W_i}^W = \frac{dW(p)}{dW_i(p)} \cdot \frac{W_i(p)}{W(p)} \quad (7)$$

На основании формулы (6) получаем выражения [2, 3]:

$$S_{W_1}^{W_M} = \frac{-W_1(p)W_2(p)W_4(p)}{[1+2W_1(p)W_2(p)W_3(p)][1+W_1(p)W_2(p)W_3(p)]} \quad (8)$$

$$S_{W_2}^{W_M} = \frac{1+2W_1(p)W_2(p)W_3(p)[1+W_1(p)W_2(p)W_3(p)]}{[1+2W_1(p)W_2(p)W_3(p)][1+W_1(p)W_2(p)W_3(p)]} \quad (9)$$

$$S_{W_i}^{W_M} = C_M \int_{W_1}^{W_M} \quad (10)$$

$$S_{W_1}^{W_{ped}} = \frac{1}{1+2W_1(p)W_2(p)W_3(p)} \quad (11)$$

$$S_{W_2}^{W_{ped}} = \frac{2[1+W_1(p)W_2(p)W_3(p)]}{1+2W_1(p)W_2(p)W_3(p)} \quad (12)$$

$$S_{W_3}^{W_{ped}} = C_M S_{W_1}^{W_{ped}} \quad (14)$$

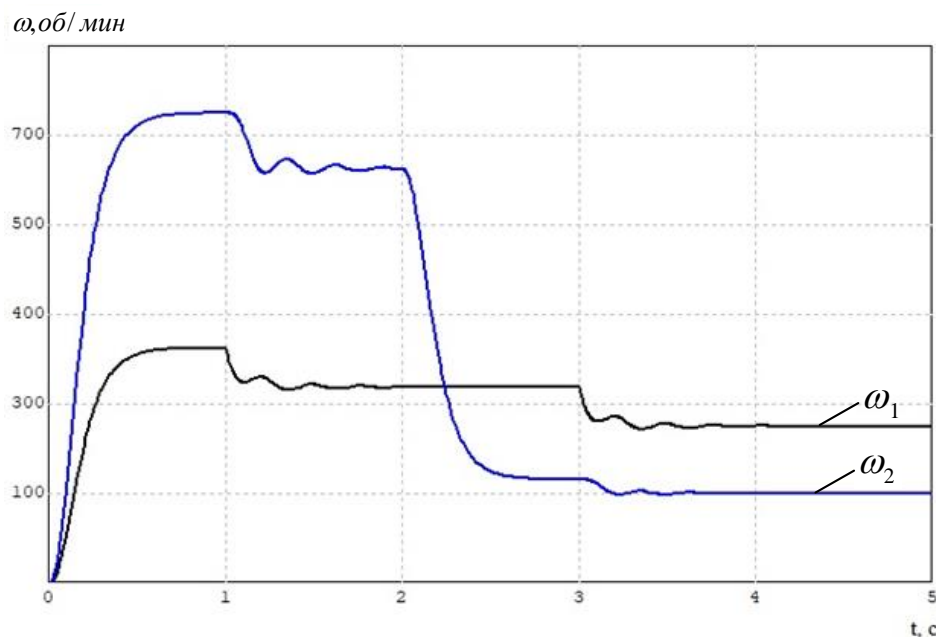


Рис.3. Переходные процессы скоростей вращения первого и второго двигателей  $\omega_1$  и  $\omega_2$  при действии момента нагрузки  $M_l$

Структура, приведенная на рис.2, была промоделирована в пакете МВТУ. На рис.3. приведены графики переходных процессов пуска ( $t=0$ ), изменения коэффициента редукции на втором электроприводе ( $t=2c$ ), действия момента  $M_l$  ( $t_l=1c$ ;  $t_2=3c$ ) [2, 3].

Анализ полученных графиков показывает, что при пуске переходные процессы  $\omega_1$  и  $\omega_2$  протекают идентично. Изменение коэффициента редукции на втором электроприводе в момент времени  $t=2c$  не отражается на первом ЭП. Действие момента нагрузки на первый ЭП  $M_l$  отражается и вторым электроприводом с учетом установленного коэффициента редукции.

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы: предложенная схема позволяет реализовать режим согласования скоростей вращения двигателей, а также дает возможность реализовать режим управляемой электронной редукции второго электропривода; предложенная схема согласованного управления дает "отражение" момента нагрузки на ненагруженном электроприводе с учетом установленного коэффициента редукции; анализ функций чувствительности даёт пути её снижения [2, 3].

#### Список литературы:

1. Бесекерский, В.А. Теория систем автоматического управления / В.А. Бесекерский, Е.П. Попов. – СПб.: из-во «Профессия», 2003. – 752 с.
2. Доманов В.И., Доманов А.В., Гаврилова С.В. Устройство

согласованного вращения асинхронных двигателей // Патент РФ № 2596216.

3. Доманов В.И., Доманов А.В., Халиуллов Д.С. Автономная генераторная установка на базе асинхронной машины с короткозамкнутым ротором // Патент РФ № 2629552.

4. Кузнецов, П.К. Методы построения и исследования динамики цифровых систем идентификации движения яркостных полей в реальном времени: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.13.14. – М., 1995. – 35 с.

5. Тарарыкин С.В., Иванков В.А., Тютиков В.В., Красильникъянц Е.В. Способ управления взаимосвязанными электроприводами (варианты) // Патент РФ № 2316886. 27.04.2006.

6. Шеннон, Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука / Р. Шеннон. – М.: Мир, 1978. – 418 с.

Информация об авторах:

Хайретдинова Мария Николаевна, студент гр. ЭАмд-11, УлГТУ, 432027, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, д. 32, [starostina.m.01@gmail.com](mailto:starostina.m.01@gmail.com)

Гаврилова Светлана Владимировна, к.т.н., доцент, УлГТУ, 432027, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, д. 32, [s.gavrilova.1990@mail.ru](mailto:s.gavrilova.1990@mail.ru)