



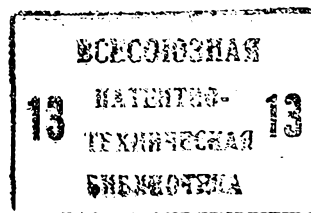
СОЮЗ СОВЕТСКИХ
СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ
РЕСПУБЛИК

(19) **SU** (11) **1138787** **A**

4(51) G 05 B 13/02

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР
ПО ДЕЛАМ ИЗОБРЕТЕНИЙ И ОТКРЫТИЙ

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ



(21) 3567831/24-24

(22) 24.03.83

(46) 07.02.85. Бюл. № 5

(72) Р.А. Орещенко

(71) Новокузнецкое отделение Ордена Трудового Красного Знамени всесоюзного научно-исследовательского проектного института "Тяжпромэлектропроект" им. Ф.Б. Якубовского

(53) 62-50(088.8)

(56) 1. Авторское свидетельство СССР № 962852, кл. G 05 B 13/04, 1981.

2. Авторское свидетельство СССР № 941923, кл. G 05 B 11/01, 1980 (прототип).

(54) (57) 1. САМОНАСТРАИВАЮЩАЯСЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ, содержащая последовательно соединенные первый сумматор, первый регулятор, усилитель мощности, электродвигатель с установленными на нем датчиком тока, датчиком скорости, датчиком ЭДС и датчиком тока возбуждения, упругую механическую передачу, соединенную с технологическим механизмом, выходом подключенным к датчику скорости механизма, блок возбуждения, датчик упругого момента, соединенный с упругой механической передачей, задатчик, три интегратора, второй, третий, четвертый и пятый сумматоры, выход датчика тока возбуждения соединен с первым входом блока возбуждения, выход которого соединен с входом обмотки возбуждения электродвигателя, выход датчика скорости которого соединен с первыми входами первого, второго и третьего сумматоров, выход первого интегратора соединен с вторым входом второго

сумматора, отличающаяся тем, что, с целью повышения качества и точности регулирования, в нее введены три корректирующих усилителя, коммутатор и второй регулятор, первый вход которого соединен с вторым входом блока возбуждения и первым выходом задатчика, второй и третий выходы которого соединены соответственно с вторым и третьим входами второго регулятора, четвертый вход которого соединен с первым входом второго интегратора, выходом датчика упругого момента, первым входом четвертого сумматора и первым выходом коммутатора, первый вход которого соединен с выходом третьего интегратора, первый вход которого соединен с выходом третьего сумматора и пятым входом второго регулятора, шестой вход которого соединен с вторым входом первого регулятора, первым входом первого интегратора и выходом датчика тока электродвигателя, датчик скорости которого соединен с седьмым входом второго регулятора, восьмой вход которого соединен с вторым входом третьего интегратора и вторым выходом коммутатора, второй вход которого соединен с четвертым выходом задатчика, выход первого корректирующего усилителя соединен с вторым входом второго интегратора и девятым входом второго регулятора, первый и второй выходы которого соединены соответственно с вторым и третьим входами первого сумматора, выход датчика ЭДС соединен с третьим входом первого регулятора, четвертый вход которого соединен с вторым входом первого

(19) **SU** (11) **1138787** **A**

го интегратора и выходом второго корректирующего усилителя, вход которого соединен с выходом второго сумматора, выход датчика скорости соединен с вторым входом третьего сумматора и первым входом пятого сумматора, второй вход которого соединен с выходом второго интегратора, выход пятого сумматора соединен с входом первого корректирующего усилителя, третий выход коммутатора соединен с вторым входом четвертого сумматора, выход которого соединен с входом третьего корректирующего усилителя, выход которого соединен с третьим входом коммутатора.

2. Система по п. 1, отличающаяся тем, что второй регулятор содержит интегратор, блок дифференцирования, два сумматора, усилитель, четыре блока модуля, три функциональных преобразователя, два корректирующих усилителя, пять компараторов и три управляемых ключа, при этом первый вход второго регулятора соединен с первым входом первого сумматора, последовательно с которым соединены усилитель, второй сумматор и блок дифференцирования, выход которого соединен с первым выходом второго регулятора, второй выход которого соединен с первым входом первого компаратора, вторым входом первого сумматора и выходом интегратора, первый вход которого соединен с выходом второго сумматора, второй и третий входы которого соединены с выходами соответственно первого и второго корректирующих усилителей, второй и третий входы второго регулятора соединены соответственно с первым и вторым входами первого ключа, управляющий вход которого соединен с выходом первого компаратора, второй вход которого соединен с выходом усилителя, второй вход которого соединен с выходом

первого функционального преобразователя, первый вход которого соединен с выходом первого ключа, четвертый вход второго регулятора соединен с первым входом второго компаратора и входом первого блока модуля, выход которого соединен с первым входом третьего компаратора, второй вход которого соединен с выходом второго функционального преобразователя, первый вход которого соединен с входом третьего функционального преобразователя, выходом второго блока модуля и вторым входом первого функционального преобразователя, пятый вход второго регулятора соединен с входом третьего блока модуля, выход которого соединен с вторым входом второго функционального преобразователя, шестой вход второго регулятора соединен с первым входом четвертого компаратора и входом четвертого блока модуля, выход которого соединен с первым входом пятого компаратора, второй вход которого соединен с выходом третьего функционального преобразователя, седьмой вход второго регулятора соединен с входом второго блока модуля и вторыми входами второго и четвертого компараторов, выходы которых соединены с управляющими входами соответственно второго и третьего ключей, восьмой и девятый входы второго регулятора соединены с вторыми входами соответственно блока дифференцирования и интегратора, первый и второй выходы третьего компаратора соединены соответственно с первым и вторым входами второго ключа, выход которого соединен с входом второго корректирующего усилителя, первый и второй выходы пятого компаратора соединены соответственно с первым и вторым входами третьего ключа, выход которого соединен с входом первого корректирующего усилителя.

1

Изобретение относится к автоматике и может быть использовано для управления промышленными электроприводами, в которых связь с объектом

2

осуществляется с помощью упругой механической передачи и имеют место изменения момента инерции на валу двигателя, жесткой упругой механи-

ческой передачи, моментов нагрузки и инерции объекта; в роботостроении (в системах управления приводами рабочих органов манипуляционных роботов), в системах управления приводами главного движения металлорежущих станков, в металлургии (в системах управления приводами моталок и прокатных валков непрерывных прокатных станков, главными приводами обжимных и толстолистовых станков и т.д.).

Известна самонастраивающаяся система управления, содержащая последовательно соединенные задатчик, первый сумматор, регулятор, усилитель мощности и электродвигатель с установленными на нем датчиком регулируемой координаты и датчиком тока, выход которого через последовательно соединенные второй сумматор, первый блок умножения, третий сумматор, первый интегратор, четвертый сумматор, второй блок умножения и второй интегратор подключен к управляющему входу регулятора и второму входу первого блока умножения, первый вход которого подключен к второму входу второго блока умножения, выход датчика регулируемой координаты соединен с вторым входом первого сумматора и вторым входом четвертого сумматора, выход которого соединен с вторым входом третьего сумматора, последовательно соединенные третий интегратор, пятый сумматор и блок деления, второй вход которого соединен с выходом второго интегратора, а выход - с вторым входом второго сумматора, выход первого блока умножения подключен к входу третьего интегратора, выход датчика регулируемой координаты подключен к второму входу пятого сумматора [1].

Недостатком такой системы является отсутствие самонастройки от вариаций момента нагрузки.

Наиболее близким техническим решением к изобретению является система управления объектом с упругими связями, содержащая последовательно соединенные задатчик, регулятор, исполнительный механизм, подключенный к объекту, выход которого через последовательно соединенные датчик, идентификатор состояния объекта, первый измеритель ошибки и формирователь сигнала управления, выход которого подключен к второму входу

регулятора, выход которого подключен к второму входу идентификатора состояния объекта, второй выход которого через сумматор соединен с третьим входом регулятора, первый вход которого соединен с вторым входом первого измерителя ошибки, последовательно соединенные второй измеритель ошибки, формирователь сигнала коррекции и блок масштабных коэффициентов, выход которого подключен к третьему входу идентификатора состояния объекта, третий выход которого соединен с первым входом второго измерителя ошибки, второй вход которого соединен с выходом датчика, а второй вход формирователя сигнала коррекции - с выходом первого измерителя ошибки [2].

В известной системе требуемая динамика обеспечивается за счет корректирующего сигнала, формируемого сумматором и поступающего на вход регулятора основного контура, т.е. без перестройки регулятора основного контура. Поэтому известная система обладает ограниченными возможностями для объектов с изменяющимися параметрами, а следовательно невысокими качеством и точностью регулирования.

Цель изобретения - повышение качества и точности регулирования.

Поставленная цель достигается тем, что в самонастраивающуюся систему управления, содержащую последовательно соединенные первый сумматор, первый регулятор, усилитель мощности, электродвигатель с установленными на нем датчиком тока, датчиком скорости, датчиком ЭДС и датчиком тока возбуждения, и упругую механическую передачу, соединенную с технологическим механизмом, выходом подключенным к датчику скорости механизма, блок возбуждения, датчик упругого момента, соединенный с упругой механической передачей, задатчик, три интегратора, второй, третий, четвертый и пятый сумматоры, выход датчика тока возбуждения соединен с первым входом блока возбуждения, выход которого соединен с входом обмотки возбуждения электродвигателя, выход датчика скорости которого соединен с первыми входами первого, второго и третьего сумматоров, выход первого интегратора соединен с вторым входом второго сумматора,

матора, введены три корректирующих усилителя, коммутатор и второй регулятор, первый вход которого соединен с вторым входом блока возбуждения и первым выходом датчика, второй и третий выходы которого соединены соответственно с вторым и третьим входами второго регулятора, четвертый вход которого соединен с первым входом второго интегратора, выходом датчика упругого момента, первым входом четвертого сумматора и первым выходом коммутатора, первый вход которого соединен с выходом третьего интегратора, первый вход которого соединен с выходом третьего сумматора и пятым входом второго регулятора, шестой вход которого соединен с вторым входом первого регулятора, первым входом первого интегратора и выходом датчика тока электродвигателя, датчик скорости которого соединен с седьмым входом второго регулятора, восьмой вход которого соединен с вторым входом третьего интегратора и вторым выходом коммутатора, второй вход которого соединен с четвертым выходом датчика, выход первого корректирующего усилителя соединен с вторым входом второго интегратора и девятым входом второго регулятора, первый и второй выходы которого соединены соответственно с вторым и третьим входами первого сумматора, выход датчика ЭДС соединен с третьим входом первого регулятора, четвертый вход которого соединен с вторым входом первого интегратора и выходом второго корректирующего усилителя, вход которого соединен с выходом второго сумматора, выход датчика скорости технологического агрегата соединен с вторым входом третьего сумматора и первым входом пятого сумматора, второй вход которого соединен с выходом второго интегратора, выход пятого сумматора соединен с входом первого корректирующего усилителя, третий выход коммутатора соединен с вторым входом четвертого сумматора, выход которого соединен с входом третьего корректирующего усилителя, выход которого соединен с третьим входом коммутатора.

Кроме того, второй регулятор содержит интегратор, блок дифференцирования, два сумматора, усилитель, четыре блока модуля, три функциональ-

ных преобразователя, два корректирующих усилителя, пять компараторов и три управляемых ключа, при этом первый вход второго регулятора соединен с первым входом первого сумматора, последовательно с которым соединены усилитель, второй сумматор и блок дифференцирования, выход которого соединен с первым выходом второго регулятора, второй выход которого соединен с первым входом первого компаратора, вторым входом первого сумматора и выходом интегратора, первый вход которого соединен с выходом второго сумматора, второй и третий входы которого соединены с выходами соответственно первого и второго корректирующих усилителей, второй и третий входы второго регулятора соединены соответственно с первым и вторым входами первого ключа, управляющий вход которого соединен с выходом первого компаратора, второй вход которого соединен с выходом усилителя, второй вход которого соединен с выходом первого функционального преобразователя, первый вход которого соединен с выходом первого ключа, четвертый вход второго регулятора соединен с первым входом второго компаратора и входом первого блока модуля, выход которого соединен с первым входом третьего компаратора, второй вход которого соединен с выходом второго функционального преобразователя, первый вход которого соединен с входом третьего функционального преобразователя, выходом второго блока модуля и вторым входом первого функционального преобразователя, пятый вход второго регулятора соединен с входом третьего блока модуля, выход которого соединен с вторым входом второго функционального преобразователя, шестой вход второго регулятора соединен с первым входом четвертого компаратора и входом четвертого блока модуля, выход которого соединен с первым входом пятого компаратора, второй вход которого соединен с выходом третьего функционального преобразователя, седьмой вход второго регулятора соединен с входом второго блока модуля и вторыми входами второго и четвертого компараторов, выходы которых соединены с управляющими входами соответственно второго и

третьего ключей, восьмой и девятый входы второго регулятора соединены с вторыми входами соответственно блока дифференцирования и интегратора, первый и второй выходы третьего компаратора соединены соответственно с первым и вторым входами второго ключа, выход которого соединен с выходом второго корректирующего усилителя, первый и второй выходы пятого компаратора соединены соответственно с первым и вторым входами третьего ключа, выход которого соединен с входом первого корректирующего усилителя.

Связь между скоростью ω_3 , моментом M_3 (или током i) электродвигателя, упругим моментом M_y механической передачи, скоростью ω_m механизма (технологического агрегата) и статическим моментом M_c на валу механизма описывается уравнениями

$$\omega_3(t) = \int \frac{M_3(t) - M_y(t)}{J_1(t)} dt = \int \frac{K_1 \Phi(t) i(t) - M_y(t)}{J_1(t)} dt; \quad (1)$$

$$\omega_m(t) = \int \frac{M_y(t) - M_c(t)}{J_2(t)} dt; \quad (2)$$

$$M_y = \int \frac{\omega_3(t) - \omega_m(t)}{\ell_c(t)} dt; \quad (3)$$

где $J_1(t)$ - момент инерции электродвигателя;

$\Phi(t)$ - поток возбуждения электродвигателя;

K_1 - коэффициент пропорциональности между током и потоком возбуждения электродвигателя;

$J_2(t)$ - момент инерции механизма;
 $\ell_c(t) = \frac{1}{c(t)}$ - величина, обратно пропорциональная жесткости $c(t)$ упругой механической передачи.

Введем переменные ℓ_1 и ℓ_2 , определяемые соответственно уравнениями

$$\int \frac{K_1 \Phi(t) i(t) - M_y(t)}{J_1(t)} dt = \omega_3(t) = \int \frac{i(t)}{\ell_1(t)} dt; \quad (4)$$

$$\int \frac{M_y(t) - M_c(t)}{J_2(t)} dt = \omega_m(t) = \int \frac{M_y(t)}{\ell_2(t)} dt. \quad (5)$$

Величина $\ell_1(t)$ определяемая уравнением (4), учитывает влияние на скорость электродвигателя величин $J_1(t)$, $\Phi(t)$, $M_y(t)$, а величина

$\ell_2(t)$, определяемая уравнением (5), учитывает влияние на скорость механизма величин $J_2(t)$ и $M_c(t)$. Поэтому описания объекта уравнения с помощью уравнений (1) - (3) и уравнений

$$\omega_3(t) = \int \frac{i(t)}{\ell_1(t)} dt; \quad (6)$$

$$\omega_m(t) = \int \frac{M_y(t)}{\ell_2(t)} dt; \quad (7)$$

$$M_y(t) = \int \frac{\omega_3(t) - \omega_m(t)}{\ell_c(t)} dt = \int \frac{\Delta\omega(t)}{\ell_c(t)} dt, \quad (8)$$

являются адекватными. В дальнейшем будем использовать уравнения (6) - (8).

Переходя к изображениям Лапласа уравнений (6) - (8) для конкретных значений ℓ_1 , ℓ_2 и ℓ_c и преобразовывая их, получим

$$\frac{\omega_3(p)}{i(p)} = \frac{1}{\ell_1(p)}; \quad (9)$$

$$\omega_y(p) = \frac{M_y(p)}{\omega_3(p)} = \frac{\ell_2 p}{\ell_2 \ell_c p^2 + 1}; \quad (10)$$

$$\frac{\omega_m(p)}{M_y(p)} = \frac{1}{\ell_2 p} \quad (11)$$

Уравнения (9) - (11) определяют связь (передаточные функции) между координатами $i(p)$, $\omega_3(p)$, $M_y(p)$ и $\omega_m(p)$ системы для нулевых начальных условий.

На фиг. 1 приведена схема самонастраивающейся системы управления; на фиг. 2 - схема второго регулятора.

Система содержит первый сумматор 1, первый регулятор 2, усилитель 3 мощности, электродвигатель 4 с установленными на нем датчиком 5 тока, датчиком 6 скорости, датчиком 7 ЭДС и датчиком 8 тока возбуждения, упругую механическую передачу 9, технологический механизм 10, датчик 11 скорости механизма, блок 12 возбуждения, датчик 13 упругого момента, задатчик 14, первый интегратор 15, второй интегратор 16, третий интегратор 17, второй сумматор 18, третий сумматор 19, четвертый сумматор 20, пятый сумматор 21, обмотку 22 возбуждения, первый 23, второй 24 и третий 25 корректирующие усилители, коммутатор 26 и второй регулятор 27.

Первый регулятор 2 содержит пропорциональное звено 28, блок 29 умно-

жения, шестой сумматор 30, пропорционально-интегральное звено 31 и седьмой сумматор 32.

Второй регулятор 27 содержит интегратор 33, блок 34 дифференцирования, восьмой 35 и девятый 36 сумматоры, усилитель 37, первый 38, второй 39, третий 40 и четвертый 41 блоки модуля, первый 42, второй 43 и третий 44 функциональные преобразователи, четвертый 45 и пятый 46 корректирующие усилители, первый 47, второй 48, третий 49, четвертый 50 и пятый 51 компараторы и первый 52, второй 53, третий 54 управляемые ключи.

В качестве технологического механизма 10 могут использоваться, например, рабочие валки прокатной клетки. При этом роль упругой механической передачи 9 играет шпиндель, соединяющий вал электродвигателя 4 с прокатными валками.

В качестве датчиков 6 и 11 скорости могут использоваться, например, тахогенераторы или импульсные датчики угла поворота. На выходе датчика 11 скорости наблюдается сигнал $\omega_m k_c$, где ω_m - скорость механизма (прокатного валка), а k_c - коэффициент передачи датчика 11 скорости. На выходе датчика 6 скорости наблюдается сигнал $\omega_3 k_c$, где ω_3 - скорость вала электродвигателя, а k_c - коэффициент передачи датчика 6 скорости.

Датчик 13 упругого момента может быть выполнен, например, на тензометрических элементах. На выходе датчика 13 наблюдается сигнал $M_y k_T$, где M_y - упругий момент, а k_T - коэффициент передачи датчика 13.

Электродвигатель 4 представляет собой двигатель постоянного тока независимого возбуждения.

Датчик 5 тока электродвигателя 4 обеспечивает на своем выходе сигнал $i k_T$, где i - ток электродвигателя, а k_T - коэффициент передачи датчика 5.

Датчик 7 ЭДС (электродвижущей силы) электродвигателя 4 формирует на своем выходе сигнал, пропорциональный ЭДС по сигналам датчика 6 скорости и датчика 8 тока возбуждения. При этом коэффициент передачи датчика 7 выбирается из условия

равенства (1) произведения коэффициента усиления усилителя 3 мощности и коэффициента передачи датчика 7 ЭДС.

Датчик 8 тока возбуждения обеспечивает на своем выходе сигнал, пропорциональный току возбуждения электродвигателя 4.

Усилитель 3 мощности обеспечивает усиление выходного канала в соответствии с передаточной функцией

$$W_M(p) = \frac{K_M}{T_p + 1}, \quad (12)$$

где K_M и T_p - коэффициент передачи и постоянная времени усилителя 3 мощности.

Если передаточную функцию пропорционально-интегрального звена 31 принять

$$W_{16}(p) = \frac{\alpha_1 R_y (T_y p + 1)}{\alpha_2^2 T_{K_T} K_{M_P}}, \quad (13)$$

где R_y и T_y - активное сопротивление и постоянная времени якорной цепи электродвигателя 4;

α_1 и α_2 - коэффициенты, то передаточная функция $W_T(p)$ контура регулирования тока якоря примет вид

$$W_T(p) = \frac{1}{K_T \left(\frac{\alpha_2^2}{\alpha_1} T_p^2 + \frac{\alpha_2^2}{\alpha_1} T_p + 1 \right)} \quad (14)$$

Блок 29 умножения обеспечивает умножение выходного сигнала пропорционального звена 28 на величину $\beta_1 [k_T / k_c]$, поступающую на его второй вход с четвертого входа регулятора 2. При этом, если коэффициент передачи пропорционального звена 28 принять

$$K_{13} = \frac{1}{\alpha_1 \alpha_2 T} \quad (15)$$

то передаточная функция $W_c(p)$ контура регулирования скорости ω_3 электродвигателя 4 примет вид

$$W_c(p) = \frac{1}{K_c \alpha_2^3 T_p^3 + \alpha_2^3 T_p^2 + \alpha_1 \alpha_2 T_p + 1} \quad (16)$$

Подставляя в полином знаменателя передаточной функции (16) новую переменную $S = \alpha_2 T_p$, получим нормированное значение характеристического полинома передаточной функции (16)

$$S^3 + \alpha_2 S^2 + \alpha_1 S + 1 \quad (17)$$

Выражение (17) показывает, что требуемая динамика контура регулирования скорости ω_3 , задается с помощью соответствующего выбора коэффициентов α_1 и α_2 и подставки их в передаточные функции (13) и (15).

Сумматор 1 обеспечивает суммирование сигнала $\omega_3 K_c$, поступающего на его первый (инверсный) вход, с сигналами задания, поступающими на второй и третий входы сумматора 1. При этом передаточная функция по скорости ω_3 относительно второго (или третьего) входа сумматора 1 имеет вид (16).

Интеграторы 15-17 имеют регулируемые постоянные интегрирования и обеспечивают интегрирование величин, поступающих соответственно на их первые входы. При этом величины их постоянных интегрирования определяются соответственно сигналами, поступающими на их вторые входы.

Корректирующие усилители 23-25 обеспечивают преобразование и усиление сигналов, поступающих соответственно на их входы. Закон преобразования зависит от требований к точности вычисления параметров ℓ_1 , ℓ_2 и ℓ_3 . В ряде случаев достаточно пропорционального закона преобразования. Для высоких требований к точности вычислений закон преобразования корректирующих усилителей должен включать в себя интегральную составляющую.

Задатчик 14 обеспечивает на своих выходах 1-4 соответственно сигналы $U_1 = K_c \omega_3$, $U_2 = K_T M_p$, $U_3 = K_T M_T$, $U_4 = \ell_c K_c / K_T$ где ω_3 - требуемое значение скорости вала электродвигателя 4 (механизма 10), M_p и M_T - требуемые значения упругого момента соответственно при разгоне и торможении механизма.

Регулятор 27 обеспечивает управление упругим моментом M_y при разгоне и торможении механизма 10 в соответствии с динамическими характеристиками контура регулирования скорости электродвигателя 4, определенными передаточной функцией (16) и осуществляет функции контроля и ограничения тока электродвигателя 4 и момента упругого

M_y в случае превышения последними допустимых уровней.

В статическом режиме (отсутствуют режимы разгона или торможения механизма и величины i и M_y не превосходят допустимых уровней) на первом выходе регулятора 27 наблюдается нулевой сигнал, а на втором - повторяется сигнал U_1 , поступающий на его первый вход.

Динамический режим разгона механизма наблюдается, когда сигнал U_1 превышает по модулю сигнал на втором выходе регулятора 27. В этом режиме на первом выходе регулятора 27 обеспечивается сигнал $U_5(p) = \ell_c p K_c M_p(p)$,

а на втором - $U_6(p) = \frac{K_c M_p(p)}{\ell_2 p}$. Следовательно,

передаточная функция $W_{31}(p)$ регулятора 27 для режима разгона механизма имеет вид

$$W_{31}(p) = \frac{U_5(p) + U_6(p)}{U_2(p)} = \frac{K_c}{K_T} \left(\ell_c p + \frac{1}{\ell_2 p} \right) = \frac{K_c}{K_T} \frac{\ell_c \ell_2 p^2 + 1}{\ell_2 p} \quad (18)$$

В периоды времени, когда разность

$$|U_1| - |U_6| < \frac{M_p K_T}{\beta} \quad \text{где } \beta - \text{коэффициент усиления усилителя 37, передаточная функция регулятора 27 принимает вид}$$

$$W_{31}(p) = \frac{p}{\beta K_c} \frac{K_c}{K_T} \frac{\ell_c \ell_2 p^2 + 1}{\ell_2 p} \quad (19)$$

Динамический режим торможения механизма наблюдается, когда сигнал U_1 меньше по модулю сигнала U_6 . В этом режиме на первом выходе регулятора 27 обеспечивается сигнал $U_5(p) = \ell_c p K_c M_T(p)$, а на втором -

$$-U_6(p) = \frac{K_c M_T(p)}{\ell_2 p} \quad \text{Следовательно,}$$

передаточная функция регулятора 27 будет описываться выражением (17),

в котором вместо сигнала $U_2(p)$ нужно использовать сигнал $U_3(p)$.

В периоды времени, когда разность $|U_1| - |U_6| < \frac{M_T}{\beta} K_T$, передаточная функция регулятора 27 принимает вид (18).

Поскольку β выбирается величиной весьма большой, то составляющая переходного процесса, обусловленная корнем, быстро затухает и может

не рассматриваться в переходном процессе. В результате получим

$$W'_{31}(p) \approx p W_{31}(p).$$

Вид функции, реализуемой функциональным преобразователем 42, определяется характеристиками электродвигателя 4 и технологического процесса, обуславливаемого самонастраивающейся системой управления.

В большинстве случаев указанная функция имеет отрицательную производную.

Функциональный преобразователь 43 обеспечивает на своем выходе величину, изменяющуюся в функции сигнала, поступающего на его второй вход, при этом масштаб функции (выходной величины функционального преобразователя 43) определяется сигналом, поступающим на первый вход функционального преобразователя 43. Функция, реализуемая функциональным преобразователем 43, уменьшается с увеличением аргумента. Характер уменьшения зависит от динамических характеристик объекта и системы управления. В первом приближении функция может быть реализована, как линейно уменьшающаяся с ростом аргумента.

Функциональный преобразователь 44 реализует зависимость $i_y = f(\omega_2)$, которая приводится в клиентском формуляре для электродвигателя 4. Величина i_A характеризует максимально допустимый ток электродвигателя 4.

Корректирующие усилители 45 и 46 обеспечивают усиления и преобразования сигналов, поступающих соответственно на их входы. Законы преобразования входных сигналов усилителей 45 и 46 зависят от требований к точности ограничения величин i и M_y . В большинстве случаев достаточно пропорциональных законов преобразования входных сигналов, более высокие требования к точности ограничения величин i и M_y на заданном уровне можно обеспечить, вводя операции дифференцирования в законы преобразования входных сигналов усилителей 45 и 46. В случае пропорциональных законов преобразования функции корректирующих усилителей 45 и 46 могут выполнять соответственно компараторы 51 и 49. При этом схема регулятора

27 может быть упрощена за счет исключения из нее корректирующих усилителей 45 и 46.

Рассмотрим работу системы в динамическом режиме на примере разгона механизма 10 (электродвигателя 4) до новой установившейся скорости. Режим разгона в системе начинается с момента увеличения по модулю (например, скачком) сигнала U_1 на первом входе задатчика 14. При этом на втором выходе задатчика 14 наблюдается сигнал $U_2 = K_T M_p$, содержащий информацию о требуемом значении M_p момента упругого M_y в процессе разгона.

Передаточная функция $W_M(p)$ для момента упругого по второму (или третьему) входу регулятора 27 определяется выражением

$$W_M(p) = \frac{M_y(p)}{U_2(p)} = W_y(p) W_c(p) W_{31}(p) = \frac{K_c}{K_T} W_c(p), \quad (20)$$

где $W_y(p)$, $W_c(p)$ и $W_{31}(p)$ — передаточные функции, определяемые уравнениями (10), (16) и (17).

Уравнение (19) показывает, что в процессе разгона механизма 10 поведение M_y будет определяться динамическими характеристиками передаточной функции $W_c(p)$ и не зависит от вариаций параметров ℓ_1 , ℓ_2 и ℓ_c , так как в системе управления непрерывно осуществляется определение фактических значений параметров ℓ_2 , ℓ_1 и ℓ_c , и обеспечивается соответствующая перестройка параметров регуляторов 2 и 27 практически синхронно с вариациями параметров ℓ_1 , ℓ_2 и ℓ_c . Это обеспечивает благодаря тому, что время определения значений ℓ_1 , ℓ_2 и ℓ_c во много раз меньше времени переходного процесса системы, определяемого передаточной функцией $W_c(p)$.

По мере разгона механизма 10 с заданным значением момента упругого сигнала U_6 на втором выходе регулятора 27 возрастает, приближаясь к значению сигнала U_1 . В момент

$$\text{времени, когда } |U_1| - |U_6| = \frac{M_p K_T}{\beta}, \text{ переда-}$$

точная функция $W_M(p)$ принимает вид

$$W_M'(p) = \frac{K_c}{K_T} p W_c(p), \text{ и система в мо-}$$

мент наступления равенства $U_1 = U_6$

возвращается в статическое состояние, соответствующее новому, установившемуся значению скорости ω_m .

Работа системы управления в режиме торможения механизма 10 подобна работе, для режима разгона.

Рассмотрим динамический режим работы системы, обусловленный возмущающими воздействиями, например, изменением момента нагрузки на валу механизма 10. Изменение момента нагрузки на валу механизма 10 приводит к изменению ω_m , M_y и ω_3 и соответствующими изменениями параметров ℓ_1 и ℓ_2 . Изменение параметра ℓ_1 приводит к перестройке регулятора 2, вызывая изменения тока i , стабилизирующие скорость ω_3 и, в конечном итоге, скорость ω_m механизма. При этом регулятор 27 непрерывно следит за текущим значением M_y . Если изменения момента нагрузки на валу механизма носят плавный характер, то, как правило, стабилизирующий эффект, обусловленный перестройкой регулятора 2, является достаточным для стабилизации скорости ω_m .

Быстрые и значительные по амплитуде изменения момента нагрузки на валу механизма вызывают выход M_y за допустимые (контролируемые регулятором 27) значения. В данном случае в работу вступает регулятор 27, который, корректируя свои выходные сигналы, изменяет скорость ω_3 так, чтобы противодействовать росту модуля M_y , резко уменьшая колебательность M_y при переходе к новому установившемуся значению. Характер перехода M_y к новому установившемуся значению зависит от полосы пропускания (частоты среза) передаточной функции $W_c(p)$. Если полоса пропускания перекрывает значение $\frac{1}{\sqrt{\ell_2 \ell_c}}$, то характер переходного процесса M_y будет определяться динамическими характеристиками передаточной функции $W_c(p)$. Поэтому при конструировании системы необходимо добиваться наименьшего значения параметра T передаточной функции $W_c(p)$, а конструктивные параметры механизма 10, определяющие значения ℓ_2 и ℓ_c , должны выбираться (проектироваться) так, чтобы значение частоты $\frac{1}{\sqrt{\ell_2 \ell_c}}$, пере-

крывалось полосой пропускания передаточной функции $W_c(p)$.

Рассмотрен динамический режим работы, обусловленный изменением момента нагрузки на валу механизма. Порядок работы системы остается аналогичным и для других возмущающих воздействий (J_1 , J_2 , s и Φ и т.д.), так как изменения последних распознаются системой через соответствующие изменения обобщенных параметров ℓ_1 , ℓ_2 , ℓ_c и M_y .

Регулятор 27 непрерывно контролирует модуль тока i электродвигателя 4. Если модуль тока i по каким-либо причинам, как правило аварийным, начнет превосходить допустимые значения, то регулятор 27, корректируя свои выходные сигналы, противодействует выходу тока i за допустимые пределы. Если причина, вызывающая увеличения модуля тока i , самоустраняется, то регулятор 27 автоматически возвращает систему в исходное состояние на заданный уровень скорости.

Рассмотрим работу регулятора 27.

Регулятор может работать в четырех динамических режимах: разгона, торможения, ограничения момента упругого M_y и ограничения тока i двигателя.

Динамический режим разгона наступает, когда сигнал U_1 , поступающий на первый вход регулятора 27, превзойдет по модулю сигнал U_6 , присутствующий на его втором выходе. Допустим, что в исходном состоянии (статическом) на первом входе и втором выходе присутствовали положительные сигналы $U_1 = U_6$. В момент увеличения сигнала U_1 (например, скачком) на выходе сумматора 35 и усилителя 37 появляются положительные сигналы. На выходе компаратора 47 обеспечивается сигнал "логической 1" и подключается первый вход ключа 52 к его выходу. Сигнал U_2 с второго входа регулятора 27 через функциональный преобразователь 42 поступает на второй вход усилителя 37, определяя уровень ограничения выходного сигнала усилителя 37. Выходной сигнал усилителя 37, проходя сумматор 36, дифференцируется блоком 34, интегрируется интегратором 33 и поступает соответственно на первый и второй

выходы регулятора 27. На выходе интегратора 33 наблюдается линейно растущий сигнал, пока усилитель 37 находится в состоянии насыщения. Сигнал на выходе сумматора 35 линейно уменьшается, приближаясь к нулю. В момент достижения выходным сигналом сумматора 35 значения $\frac{K_{\Phi} M_p}{\beta}$

усилитель 37 выходит из насыщения и происходит согласование сигналов U_1 и U_6 . В момент равенства $U_1 = U_6$ регулятор 27 возвращается в статическое состояние.

Динамический режим торможения в регуляторе 27 наступает в момент нарушения равенства $U_1 = U_6$ путем уменьшения (например, скачком) модуля сигнала U_1 . При этом на выходе компаратора 47 обеспечивается сигнал логического "0", и уровень ограничения выходного сигнала усилителя 37 будет определяться сигналом U_3 , поступающим на третий вход регулятора 27. В режиме торможения модуль выходного сигнала интегратора 33 линейно уменьшается. В остальном работа регулятора 27 в режиме торможения подобна его работе в режиме разгона.

Динамический режим ограничения M_y в регуляторе 27 наступает, когда сигнал на первом входе компаратора 49 превзойдет сигнал, поступающий на его второй вход. При этом на первом и втором выходах компаратора 49 появляются соответственно положительный и отрицательный сигналы, равные по модулю. Компаратор 48 и ключ 53 подключают вход корректирующего усилителя 46 к первому или второму выходу компаратора 49 соответственно при отрицательном и положительном значениях сигнала $M_y K_T$, присутствующего на четвертом входе регулятора 27. Выходной сигнал компаратора 49, проходя корректирующий усилитель 46 и сумматор 36, дифференцируется блоком 34, интегрируется интегратором 33 и поступает соответственно на первый и второй выходы регулятора 27. Изменения выходных сигналов регулятора 27 приводят к уменьшению модуля сигнала $M_y K_T$, поступающего на его четвертый вход, и исчезновению сигналов на выходах компаратора 49. Выходной сигнал интегратора 33, поступая на второй

вход сумматора 35, обеспечивает согласование сигналов U_1 и U_6 . В момент наступления равенства $U_1 = U_6$ регулятор 27 возвращается в статическое состояние.

Динамический режим ограничения тока i двигателя в регуляторе 27 наступает, когда сигнал на первом входе компаратора 51 превзойдет сигнал, поступающий на его второй вход. При этом на первом и втором выходах компаратора 51 появляются соответственно положительный и отрицательный сигналы, равные по модулю. Компаратор 50 и ключ 54 подключают вход корректирующего усилителя 45 к первому или второму выходу компаратора 51 соответственно при отрицательном и положительном значениях сигнала $i K_T$, присутствующего на шестом входе регулятора 27. Выходной сигнал компаратора 51, проходя корректирующий усилитель 45 и сумматор 36, дифференцируется блоком 34, интегрируется интегратором 33 и поступает соответственно на первый и второй выходы регулятора 27. Изменение выходных сигналов регулятора 27 приводит к уменьшению модуля сигнала $i K_T$, поступающего на его шестой вход, и исчезновению сигналов на выходах компаратора 51. Выходной сигнал интегратора 33, поступая на второй вход сумматора 35, обеспечивает согласование сигналов U_1 и U_6 . В момент наступления равенства $U_1 = U_6$ регулятор 27 возвращается в статическое состояние.

Возможны случаи, когда указанным динамическим режимам предшествует не статический, а один из динамических режимов регулятора 27.

Существенные отличительные признаки (введение регулятора, корректирующих усилителей и соответствующее изменение связей между элементами) предлагаемого устройства обеспечивают последнему положительный эффект: самонастройку от вариаций жесткости упругого элемента и момента инерции на его выходе.

Следствием положительного эффекта при применении предлагаемого устройства вместо известных является технико-экономический эффект. При этом величина экономического эффекта во многом определяется особенностями технологического процесса

и технологических агрегатов, для управления которыми используется предлагаемое устройство.

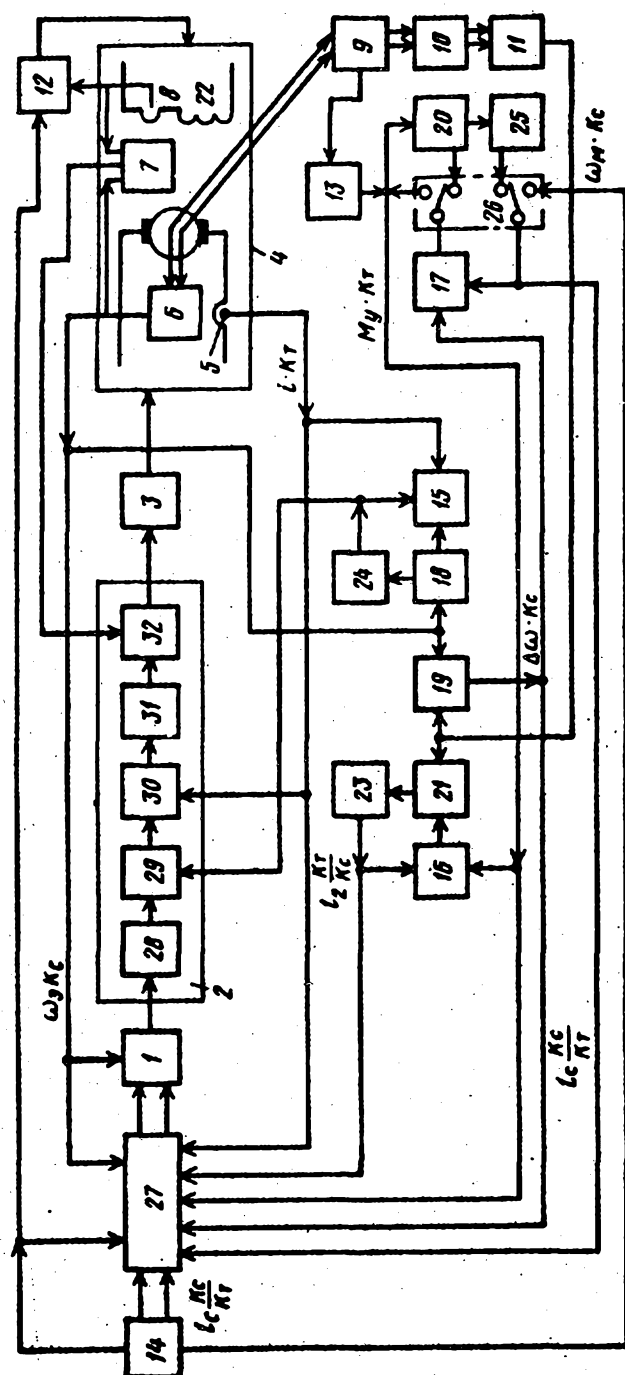
Рассмотрим в качестве базового объекта широко используемые в металлургическом производстве для управления скоростью прокатных валков (главных приводов клетей) подчиненные системы управления с последовательной коррекцией. Экспериментальное исследование таких систем показало, что отсутствие в последних (как и в известном устройстве) самонастройки (настройки) для параметров упругой механической передачи и связанных с ней моментов инерции вызывает в кинематических передачах последних крутильные колебания. При этом амплитуда колебаний упругого момента может достигать $3,7 M_H$, где M_H — номинальный крутящий момент прокатного валка. Установлено, что крутильным колебаниям соответствуют неустойчивые режимы прокатки: буксовка и незахват металла. Явления незахвата металла при прокатке приводят к увеличению некондиционной части, подлежащей обрезанию, переднего и заднего концов раската. Явление буксовки приводит к появлению в раскате бракованных участков, подлежащих вырезанию, или снижает качество (сортность) проката. Для обеспечения надежной работы электродвигателя в условиях крутильных колебаний пришлось усилить элементы якоря, имевшие недостаточный запас прочности. Кроме того, в ряде слу-

чаев крутильные колебания приводят к поломке кинематических звеньев.

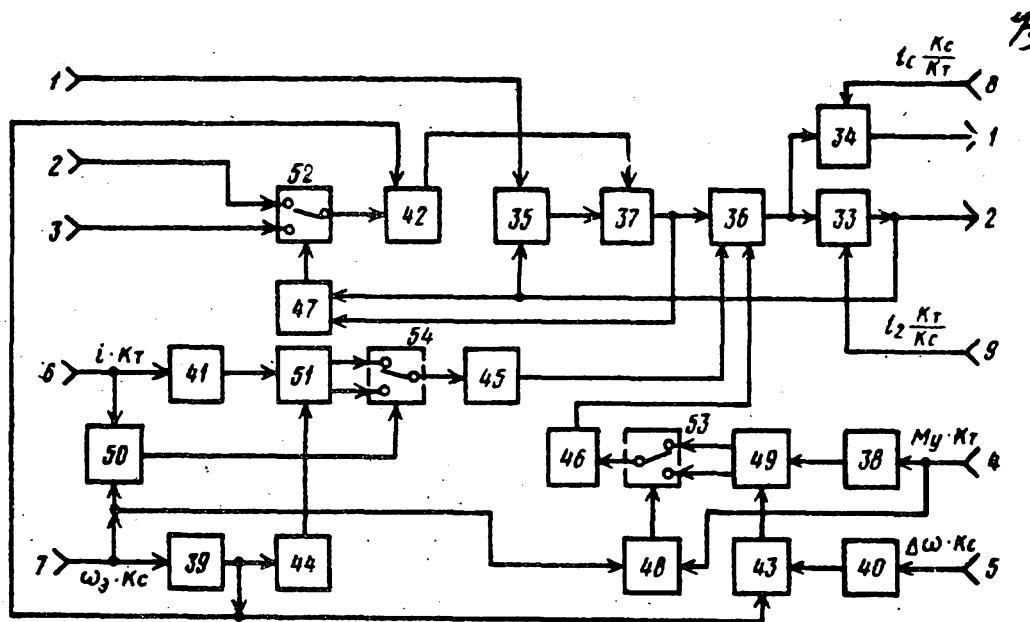
Для предотвращения аварийных ситуаций (поломок) в этих условиях

- 5 приходится в кинематическую цепь устанавливать предохранительные муфты, что усложняет и повышает стоимость технологического оборудования. Практически 90% разрушений
- 10 деталей машин имеют усталостный характер и происходят в результате действия переменных динамических нагрузок, ярким примером которых являются крутильные колебания,
- 15 т.е. крутильные колебания снижают долговечность технологического оборудования.

- 20 Таким образом, применение предлагаемого устройства вместо базового в прокатном производстве, позволяет получить экономический эффект за счет удешевления конструкций электродвигателя и технологического оборудования (отпадает необ-
- 25 ходимость усиления элементов якоря электродвигателя и кинематических передач, не требуется установка предохранительных муфт) и увеличения срока эксплуатации электро-
- 30 двигателя и технологического оборудования; снижение расхода металла в обрызг (брак) и повышение качества (сортности) проката достигается ликвидацией неустойчивых режимов
- 35 прокатки. Повышение производительности технологического оборудования достигается сокращением простоев (аварий, замена элементов предохранительных муфт и т.д.).



Q42.1



Фиг. 2

Редактор Р. Цирика
 Составитель П. Кудрявцев
 Техред Л. Мартяшова
 Корректор Н. Король

Заказ 10688/37
 Тираж 863
 Подписное

ВНИИПИ Государственного комитета СССР
 по делам изобретений и открытий
 113035, Москва, Ж-35, Раушская наб., д. 4/5

Филиал ППП "Патент", г. Ужгород, ул. Проектная, 4