

УДК 681.516.83.669.09

Е.М.Есиркеев
Baker Hughes, Атырау**МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ
ПРОКАТНЫХ СТАНОВ В ПРОГРАММЕ MATLAB+SIMULINK**

Прокаттық өндірістің негізгі мәселесі — прокаттың нақтысын көбейту. Мақалада прокаттық станның тәуелсіз қозуымен тұрақты токты электр қозғауыштың және оның бағыну бақылауы бар басқару жүйесінің қалыптасу процестерінің модельдері Matlab + Simulink программасында қарастырылған. Ондай бағдарламада жасалған прокаттық станның электр жабдығының модельдері жұмыс кезінде орын алатын физикалық процестерін көрнекті түрде көрсетеді. Модельдің шешімдері электр жүйенің кіру және шығу параметрлерінің байланысын орнатады. Осы мағлұматқа байланысты суық прокатка станның электр жабдығының техникалық диагностика жүйесін құрастыруға болады.

The main problem of rolling manufacture is the increase of accuracy of a rolling sheet. This article presents a model of processes in the engine of a constant current with independent excitation and control system with the subordinated regulation of rolling mills in the program Matlab+Simulink. The modeling of work of an electric equipment of rolling mills in the program Matlab+Simulink allows evidently to see physical processes occurring in an operating time mill. The results of modeling allow to establish relation between entrance and target parameters of electrical system. On the basis of these data it is possible will construct system of diagnostics of an electric equipment of rolling mills.

Одной из наиболее важных проблем прокатного производства является повышение точности прокатки. Поэтому при автоматизации прокатных станов центральной задачей является разработка систем автоматического поддержания заданных геометрических параметров готового листа. Системы автоматического регулирования электрооборудованием прокатных станов строятся на основе математических моделей физических процессов работы стана.

В данной статье рассматривается моделирование переходных процессов электрооборудования непрерывного шестиклетьевого стана «1400» холодной прокатки в линейно-прокатном цехе № 3 металлургического комбината «МитталСтил Темиртау», в частности, двигателя постоянного тока независимого возбуждения и системы управления с подчиненным регулированием в пакете программ Matlab+Simulink.

Непрерывный шестиклетьевой стан холодной прокатки обеспечивает прокатку стальной полосы с толщиной подката 1,5...5,0 мм и шириной 1250...2350 мм. На рисунке 1 представлена функциональная схема системы управления главного электропривода рабочего вала клетки стана.

Электропривод вала представляет систему Γ -Д при питании обмотки возбуждения генератора (Γ) от тиристорного возбудителя (TB). Система регулирования построена по принципу подчиненного регулирования и включает в себя три основных контура.

Контур регулирования напряжения KPH генератора с регулятором напряжения PH , выходом которого является напряжение управления U_y тиристорного возбудителя TB , питающего обмотку возбуждения генератора $OBГ$. Обратная связь по напряжению генератора в KPH замкнута через датчик напряжения $ДН$.

Контур регулирования тока KPT якоря двигателя, содержащий регулятор тока PT , контур регулирования KPH генератора и датчик тока $ДТ$ с шунтом RS в обратной связи.

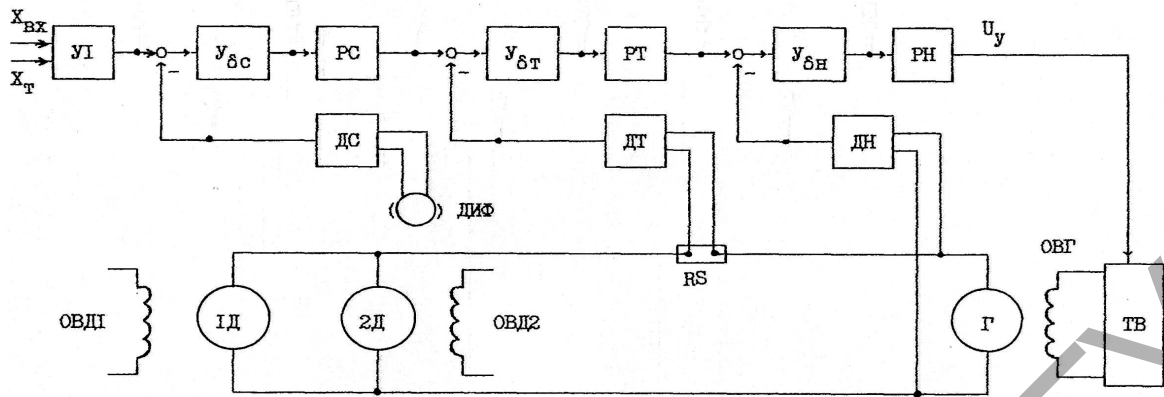


Рис. 1. Функциональная схема электропривода валка стана «1400» холодной прокатки «Миттал-Стил Темиртау»: У1 — суммирующий усилитель; $У_{\delta с}$, $У_{\delta т}$, $У_{\delta н}$ — звенья, позволяющие оценить ошибку регулирования; РС — регулятор скорости; ДС — датчик скорости; РТ — регулятор тока; ДТ — датчик тока; РН — регулятор напряжения; ДН — датчик напряжения; ОВД1, 2 — обмотки возбуждения двигателя; Д1, 2 — двигатели; ДИФ — дифференциально-импульсный фазочувствительный выпрямитель; RS — шунт; Г — генератор; ОВГ — обмотка возбуждения генератора; ТВ — тиристорный выпрямитель

Контур регулирования скорости КРС с регулятором скорости РС. На вход датчика скорости ДС поступает сигнал, пропорциональный скорости якоря двигателя, с дифференциально-импульсного фазочувствительного выпрямителя ДИФ.

В контурах регулирования технически реализованы и выделены звенья $У_{\delta с}$, $У_{\delta т}$, $У_{\delta н}$, позволяющие оценить ошибку системы регулирования при снятии ее частотных характеристик. Обмотки возбуждения ОВД1, ОВД2 двухякорного 1Д, 2Д электродвигателя валка стана включены в систему регулирования тока возбуждения двигателя, которая не рассматривается. Задание скорости вращения всех валков клеток стана осуществляется сигналом $X_{вх}$ через суммирующий усилитель У1.

На рисунке 1 цифрами указаны выходные координаты, используемые при снятии динамических характеристик электропривода валка клетки стана [1].

На рисунке 2 схематически показан двигатель постоянного тока с независимым возбуждением. Уравнения, которыми описываются электромагнитные и электромеханические процессы в этом двигателе, имеют вид [2]:

$$\left. \begin{aligned} u_B &= L_B \frac{di_B}{dt} + r_B \cdot i_B; \\ u_Y &= L_Y \frac{di_Y}{dt} + r_Y \cdot i_Y + e_Y; \\ J \frac{d\omega_m}{dt} &= M - M_H; \\ \Phi_B &= k_\Phi \cdot i_B; \\ e_Y &= k_E \cdot \omega_m \cdot \Phi_B; \\ M &= k_M \cdot i_Y \cdot \Phi_B. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

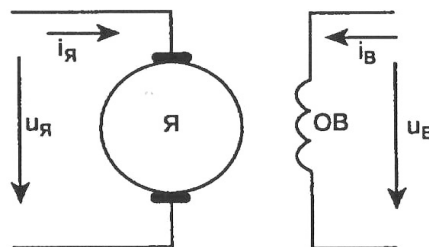


Рис. 2. Двигатель постоянного тока с независимым возбуждением: i_Y — ток якоря; u_Y — напряжение якоря; Я — якорь; ОВ — обмотка возбуждения; i_B — ток обмотки возбуждения; u_B — напряжение обмотки возбуждения

В уравнениях (1) индексом «В» отмечены переменные и параметры, относящиеся к обмотке возбуждения, индексом «Я» — переменные и параметры, относящиеся к якорю, коэффициенты k_Φ , k_e , k_M являются конструктивными постоянными.

Приведем уравнения (1) к безразмерному виду, приняв в качестве базовых единиц номинальные значения переменных двигателя: $U_{B.HOM}$, $U_{Я.HOM}$, $\Phi_{B.HOM}$, $\omega_{0.HOM} = \frac{U_{Я.HOM}}{k_E \cdot \Phi_{B.HOM}}$, $M_{K.HOM} = k_M \cdot \Phi_{B.HOM} \cdot \frac{U_{Я.HOM}}{r_Я}$.

$$\left. \begin{aligned} \bar{u}_B &= T_B \frac{d\bar{i}_B}{dt} + \bar{i}_B; \\ \bar{u}_Я &= T_Я \frac{d\bar{i}_Я}{dt} + \bar{i}_Я + \bar{\Phi}_B \cdot \bar{\omega}_m; \\ T_m \frac{d\bar{\omega}_m}{dt} &= \bar{\Phi}_B \cdot \bar{i}_Я - \bar{M}_H; \\ \bar{\Phi}_B &= k_\Phi \cdot \bar{i}_B, \end{aligned} \right\} (2)$$

где $\bar{u}_B = \frac{u_B}{U_{B.HOM}}$; $\bar{u}_Я = \frac{u_Я}{U_{Я.HOM}}$; $\bar{i}_B = \frac{i_B \cdot r_B}{U_{B.HOM}}$; $\bar{i}_Я = \frac{i_Я \cdot r_Я}{U_{Я.HOM}}$; $\bar{\Phi}_B = \frac{\Phi_B}{\Phi_{B.HOM}}$; $\bar{\omega}_m = \frac{\omega_m}{\omega_{0.HOM}}$; $\bar{M}_H = \frac{M_H}{M_{K.HOM}}$ — относительные переменные состояния двигателя; $T_B = \frac{L_B}{r_B}$, $T_Я = \frac{L_Я}{r_Я}$, $T_m = \frac{J \cdot \omega_{0.HOM}}{M_{K.HOM}}$,

$k_\Phi' = k_\Phi \cdot \frac{U_{B.HOM}}{r_B \cdot \Phi_{B.HOM}}$ — параметры двигателя.

Уравнения (2) могут быть представлены в операторной форме

$$\left. \begin{aligned} \bar{u}_B &= (s \cdot T_B + 1) \cdot \bar{i}_B; \\ \bar{u}_Я &= (s \cdot T_Я + 1) \cdot \bar{i}_Я + \bar{\Phi}_B \cdot \bar{\omega}_m; \\ s \cdot T_m \cdot \bar{\omega}_m &= \bar{\Phi}_B \cdot \bar{i}_Я - \bar{M}_H; \\ \bar{\Phi}_B &= k_\Phi' \cdot \bar{i}_B, \end{aligned} \right\} (3)$$

которым соответствует модель, представленная на рисунке 3, окно настройки параметров моделирования — на рисунке 4.

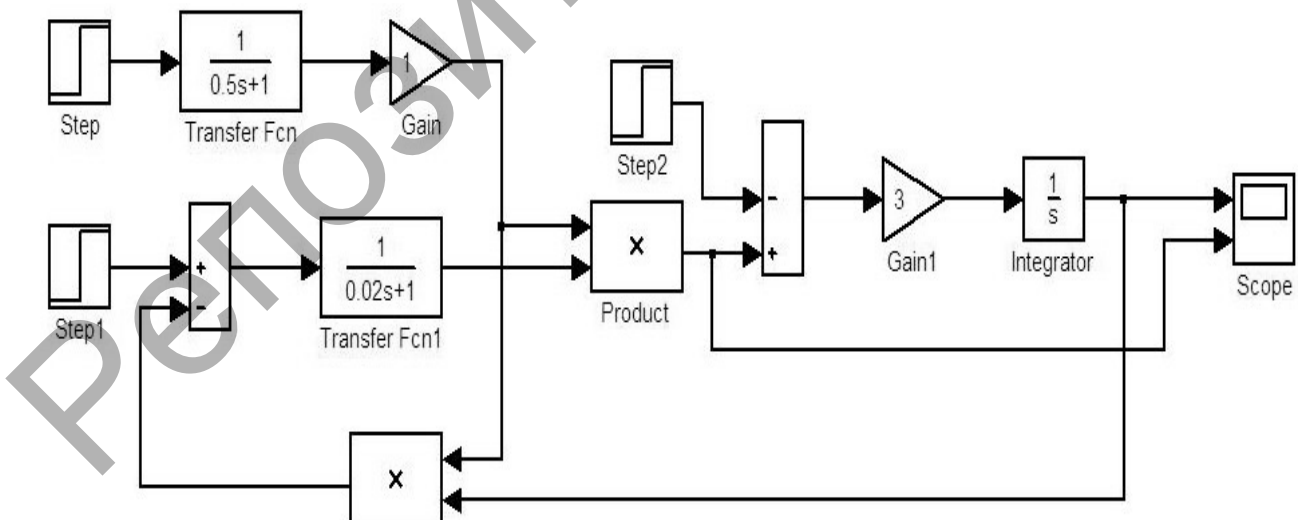


Рис. 3. Модель двигателя постоянного тока с независимым возбуждением: *Step* — блок источника сигнала; *Transfer Fcn* — блок интегрирования с передаточной функцией; *Sum* — сумматор; *Product* — блок умножения; *Gain* — коэффициент; *Integrator* — интегратор; *Scope* — экран

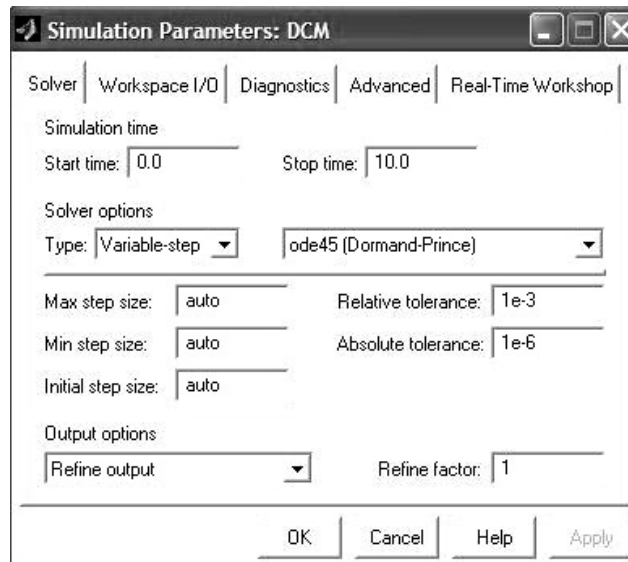


Рис. 4. Окно настройки параметров моделирования

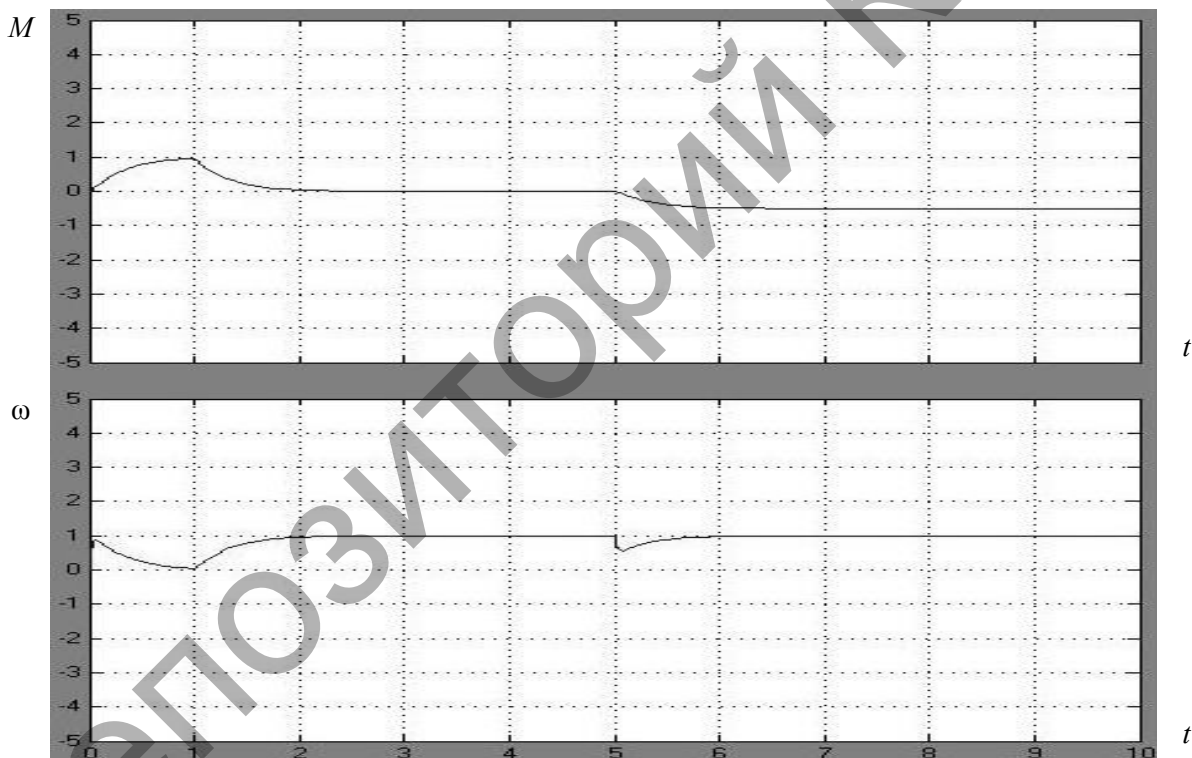


Рис. 5. Результаты моделирования двигателя постоянного тока с независимым возбуждением

Модель имеет два входа управления: $U_{\text{я}}$ — управление по цепи якоря; $U_{\text{в}}$ — управление по цепи возбуждения и один вход по возмущению $M_{\text{н}}$ — возмущение по моменту нагрузки. Блок (*Transfer Fcn*) моделирует цепь возбуждения (постоянная времени $T_{\text{в}} = 0,5$ с). Блок (*Transfer Fcn1*) моделирует цепь якоря (постоянная времени $T = 0,02$ с). Блоки (*Product*, *Product1*) реализуют умножение в соответствии с уравнениями 2 и 3 системы (3). Блоки (*Sum1*, *Gain*, *Integrator*) реализуют третье уравнение системы (3). На рисунке 4 показано окно настройки параметров моделирования, а на рисунке 5 представлены результаты моделирования двигателя, управляемого по цепи якоря. Управление по цепи возбуждения подается намного раньше для того, чтобы к моменту подачи управляющего и возмущающего воздействия поток в машине уже установился. Как следует из рисунков 4, 5, все время моделирования принято равным 10 с, сигнал по управлению подается спустя 2 с с начала моделирова-

ния, а возмущение — спустя 5 с с начала моделирования. На рисунке 5 представлен переходный процесс по моменту и по скорости.

В двигателе с независимым возбуждением поток можно считать постоянным. В этом случае модель двигателя упрощается, она представлена на рисунке 6.

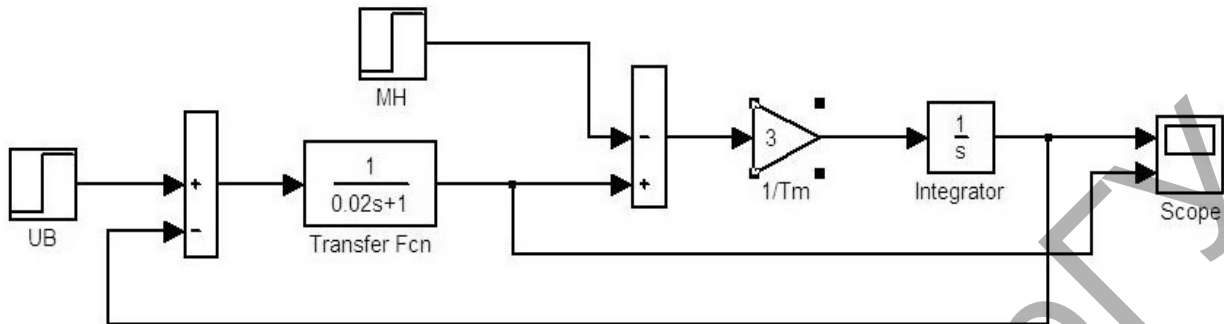


Рис. 6. Модель двигателя постоянного тока независимого возбуждения при постоянном потоке возбуждения: *Step* — блок источника сигнала; *Sum* — сумматор; *Transfer Fcn* — блок интегрирования с передаточной функцией; *Gain* — коэффициент; *Integrator* — интегратор; *Scope* — экран

В приводах постоянного тока прокатных станов с двигателем с независимым возбуждением иногда используется так называемое двухзонное регулирование. В этом случае двигатель управляется и по цепи якоря, и по цепи возбуждения. Обычно эти управления разнесены. По цепи якоря при постоянном потоке возбуждения управление осуществляется при значительных моментах на валу, а управление по цепи возбуждения — при малых моментах.

На рисунке 7 представлены результаты моделирования при двухзонном регулировании двигателя, когда при малых моментах необходимо получить скорость большую идеального холостого хода. Для этого в реальных системах уменьшают поток двигателя. В окне настройки блока (U_b , рис. 8) видно, что через пять секунд после пуска в два раза уменьшается поток двигателя, при этом скорость возрастает также в два раза. Моделирование производилось при моменте нагрузки $M_H = 0,1 \cdot M_{кном}$.

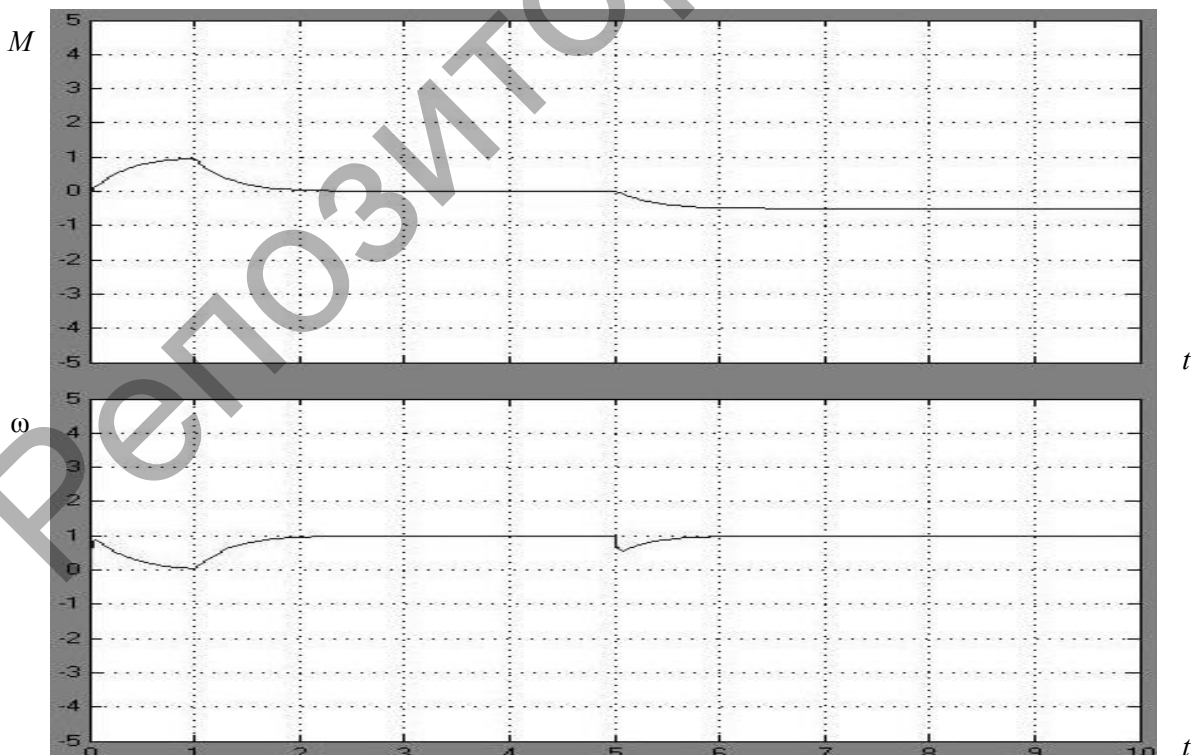


Рис. 7. Результаты моделирования двигателя постоянного тока независимого возбуждения с управлением по цепи якоря и возбуждения

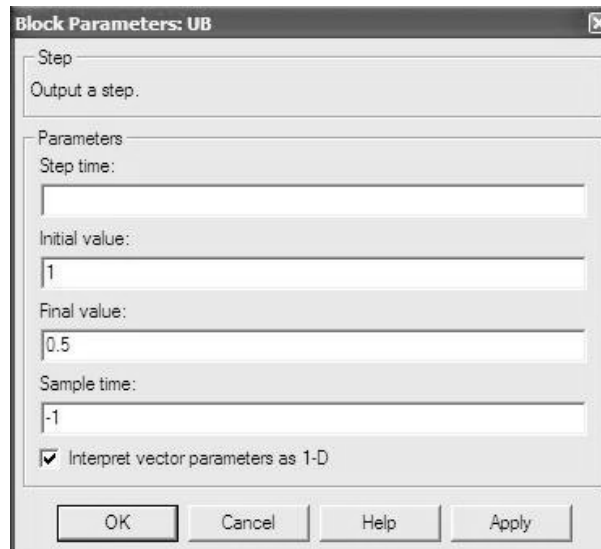


Рис. 8. Окно настройки двигателя постоянного тока с независимым возбуждением с управлением по цепи якоря и возбуждения

Требования высокой точности регулирования и высокого быстродействия, которые предъявляются к современному электроприводу прокатных станов, обуславливают применение замкнутых систем. Только замкнутые системы позволяют осуществить реализацию в электроприводе прокатных станов двух основных принципов:

- 1) регулируемая величина на выходе электропривода (скорость, угол, момент и т.д.) должна по возможности точнее повторять задающий (входной) сигнал;
- 2) регулируемая величина на выходе электропривода по возможности не должна зависеть от возмущающих воздействий на электропривод. Такими возмущающими воздействиями могут быть напряжение питания, температура, момент нагрузки, временные зависимости параметров и т.д.

Поэтому основным принципом управления является принцип обратной связи, позволяющий осуществить контроль качества регулирования по отклонению управляемого параметра от заданного. Каждый элемент функциональной схемы электропривода описывается в статике и динамике передаточной функцией.

В электроприводе в основном применяются три структуры построения:

- 1) с промежуточным суммирующим элементом;
- 2) с независимым регулированием параметров;
- 3) с подчиненным регулированием.

Из всех перечисленных способов построения преимущественное распространение в электроприводах прокатных станов получили системы с подчиненным регулированием. В них на вход каждого регулятора $W_{p1}(s)$ – $W_{pn}(s)$ подается сигнал с предыдущего каскада (рис. 9), соответствующий заданному уровню регулируемой величины, и сигнал с выхода данного каскада, отвечающий фактическому уровню. Важным достоинством данной структуры является возможность простыми средствами осуществить ограничение любой из координат системы. Для этого достаточно ограничить задание данной координаты.

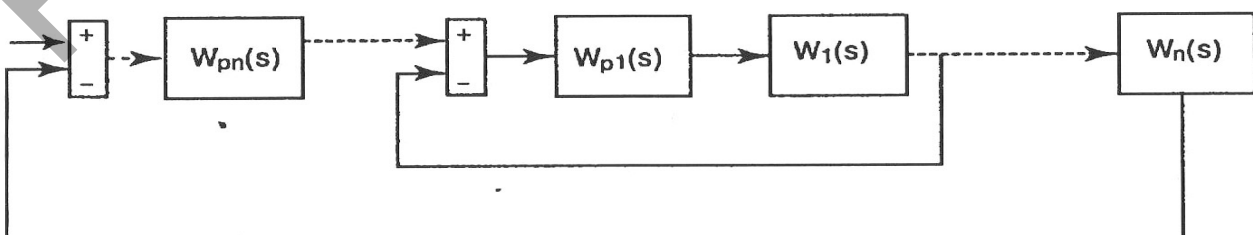


Рис. 9. Структура схемы подчиненного электропривода: $W_{pn}(s)$ — передаточные функции звеньев системы; Sum — сумматор

Передаточная функция регулятора подбирается так, чтобы при включении последовательно с соответствующим звеном системы $W_1(s) \dots W_n(s)$ была скомпенсирована большая постоянная времени.

Если исходная система представляет колебательное звено с передаточной функцией

$W_1(s) = \frac{1}{T^2 \cdot s^2 + 2 \cdot T \cdot \zeta \cdot s + 1}$, то в соответствии с изложенным подходом регулятор должен быть

ПИД-регулятором с передаточной функцией

$$W_{PI} = \frac{T^2 \cdot s^2 + 2 \cdot T \cdot \zeta \cdot s + 1}{T_0 \cdot s} = \frac{T^2}{T_0} \cdot s + \frac{2 \cdot T \cdot \zeta}{T_0} + \frac{1}{T_0 \cdot s} = k_D \cdot s + k_{PI} + \frac{k_{II}}{s}.$$

В этом случае передаточные функции разомкнутой и замкнутой системы примут вид:

$$W_{PA3.1} = \frac{1}{T_0 \cdot s};$$

$$W_{3AM.1} = \frac{1}{1 + T_0 \cdot s}.$$

Модель и результаты моделирования для этого случая представлены на рисунках 10, 11.

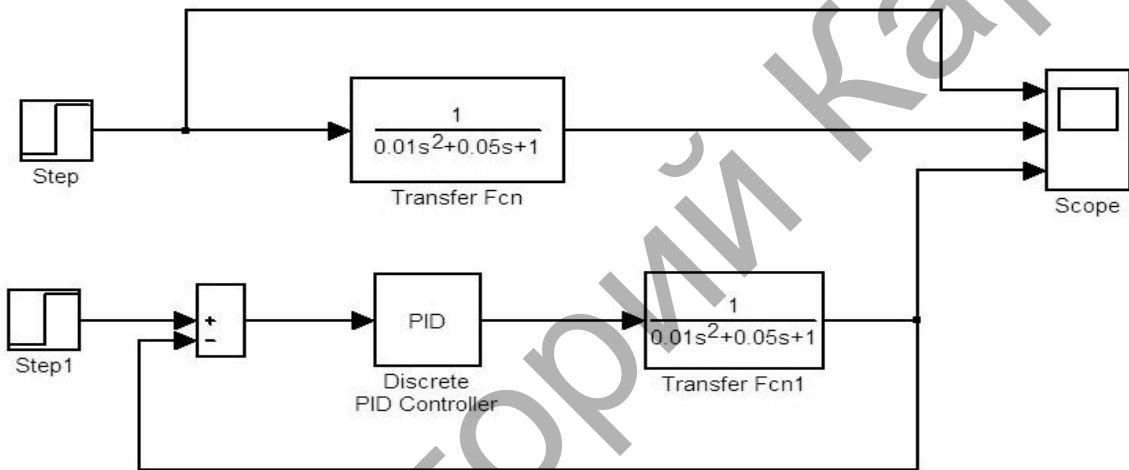


Рис. 10. Модель колебательного звена с регулятором: *Step* — блок источника сигнала; *Transfer Fcn* — блок интегрирования с передаточной функцией; *Sum* — сумматор; *Discrete PID Controller* — пропорционально-интегрально-дифференциальный контроллер; *Scope* — экран

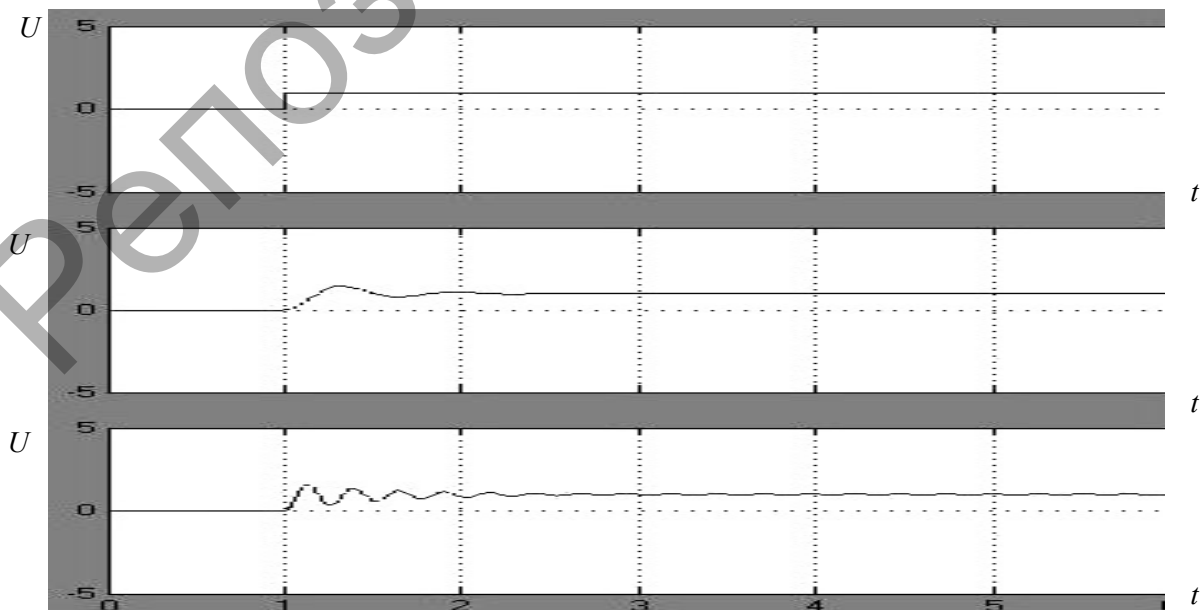


Рис. 11. Результаты моделирования колебательного звена с регулятором

Таким образом, практически для всех реальных ситуаций первый внутренний контур электропривода с подчиненным управлением можно представлять аperiодическим звеном с достаточно малой постоянной времени.

Перейдем к рассмотрению второго контура. Если исходное звено второго контура является интегрирующим с передаточной функцией $W_2(s) = \frac{1}{T_2 \cdot s}$, то общая передаточная функция первого и ис-

ходного второго звена будет равна $W_{раз2}(s) = \frac{1}{(T_0 \cdot s + 1) \cdot T_2 \cdot s}$ [2].

На основе результатов моделирования можно сделать вывод о непосредственной связи между электрическими параметрами электрооборудования прокатного стана и физическими и химическими процессами, протекающими в самом стане в процессе прокатки стальной полосы, что позволяет контролировать процесс прокатки. Для элементов электропривода прокатного стана существует однозначная связь между видом дефекта и относительных чувствительностей передаточных функций, что позволит сформулировать требования к необходимому диапазону изменения электрических параметров электрооборудования стана, выделить наиболее информативные координаты автоматизированного электропривода, которые характеризуются максимальной чувствительностью к изменению состояния автоматизированного электропривода при дефекте.

Список литературы

1. Железнов Ю.Д., Коцарь С.Л., Абиев А.Г. Статические исследования точности тонколистовой прокатки. — М.: Металлургия, 1974. — 240 с.
2. Ковчин С.А., Сабинин Ю.А. Теория электропривода. — СПб.: Энергоатомиздат, 1994. — 496 с.

УДК 543.422.8

С.А.Ефименко¹, В.С.Портнов², А.К.Турсунбаева², А.Д.Маусымбаева²

¹ТОО «Корпорация Казахмыс», Жезказган;

²Карагандинский государственный технический университет

РЕНТГЕНРАДИОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МЕДНЫХ РУД ФИЛЬТРАМИ РОССА

Жезказган кен орны мыс-мырышты кендерді рентгенорадиометриялық талдау үшін Росс сүзгілерін сұрыптау әдістемесі теориялық негізделінді. Сүзгілер стандартты әдістемемен салыстырылды. Мыстың аналитикалық сызықтарының гамма-сәулелену ағындық өлшеу қателігі 8 есе кеміді. «Никель-алюминий» фильтрлерін буындық қолдануы ұсынылды. Бұл әдістен кейін метрологиялық көрсеткіштер әлдеқайда өсті.

Theoretically substantiated method of selection of Ross filters for X-ray radiometric analysis of copper-zinc ore deposit Zhezkazgan. Compared with the standard method. While the measurement error of gamma-ray analysis of copper lines has decreased by 8 times. Proposed to use a pair of filters «nickel-aluminum». After that method increased metrological characteristics.

Дифференциальным фильтрам Росса, несмотря на очевидные преимущества, свойственны и существенные недостатки, как то: зависимость точности рентгенорадиометрического анализа (РРА) от стабильности усилительных свойств энергодисперсного спектрометра; концентрационное вырождение чувствительности; низкая точность РРА в области низких содержаний определяемого элемента.

Известно, что фильтры Росса балансируются на пробе руды, в которой отсутствует определяемый элемент, но представлены все остальные рудные компоненты данного месторождения. Подбором поверхностной плотности фильтров добиваются равенства замеров плотности потока рентгеновской флуоресценции в дифференциальном окне спектрометра, как после поглощающего, так и после пропускающего фильтра.