



## ЗМІСТ

### 4 НОРМАТИВНА БАЗА

- 4 Інформація щодо останніх наказів мінпаливенерго про затвердження галузевих нормативних документів
- 5 Пушкар А.П.  
Стан кабельної галузі України в 1-му півріччі 2006 року. Перспективи і задачі

### 7 НОВЕ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ

- 7 Назаров В.В., Рябчук С.В., Морский М.И.  
Об эффективности использования измерительных трансформаторов повышенной точности.
- 9 Автоматические выключатели ВА88
- 14 "ТЕХНОТОН" – комплексная электрификация с любой стадии до завершения
- 16 Пономарчук М.  
КРУ с элегазовой изоляцией для первичной и вторичной систем распределения
- 18 Хохулин Б.К.  
Конструкции и характеристики устройств защитного отключения серии Multi 9 от «Schneider Electric»

### 21 НАУКОВІ ВОЗРОБКИ

- 21 Гасва В.М., Гнатювський А.В., Галота А.Д., Стелюк А.О., Яндульський О.С.  
Керування енергозбереженням в електричних мережах енергоємних підприємств.
- 27 Коноглев К.Г.  
Изменение тока и напряжения возбуждения синхронного генератора в режиме холостого хода при импульсном регулировании.
- 32 Манилов А.М., Демьяненко Ю.С.  
Релейная защита трансформаторов, защищенных предохранителями

### 35 НАУКА-ВИРОБНИЦТВО

- 35 Федоров С.Д., Облакевич С.В., Радюк О.П.  
Проблема утилизации шахтного метана в когенерационных установках и пути ее решения на примере шахты им. А.Ф. Засядько.
- 41 Антонов В.Г., Лернер А.И., Лосицкий Ю.Е.  
Повышение эффективности эксплуатации установки «печь-ковш» ОАО «Алчевский металлургический комбинат» при динамической компенсации реактивной мощности в сети 35 кВ.
- 44 Богдашко И.Н.  
Синтез системы автоматического регулирования толщины тонколистового стана горячей прокатки на базе интеллектуальной электромеханической системы переменного тока.

### 52 Бедерак Я.С.

- Технические и экономические преимущества от замены силовых трансформаторов большой мощности на меньшие мощности при неполной загрузке силовых трансформаторов

### 55 ЗАПИТАННЯ-ВІДПОВІДІ

- 55 Стосовно необхідності установлення на ВП, ВРП, ГРЩ, РП впаратів захисту
- 56 Про необхідність враховувати при визначенні розрахункового струму фідера, що живить будівлю, конденсаторну установку

Головний редактор

к.т.н. В.М. Божко (м. Київ)

Заступники головного редактора:

к.т.н. М.А. Денисенко (м. Київ)

С.М. Лисенко (м. Київ)

Члени редакційної колегії:

д.т.н. І.М. Богаченко (м. Київ)

д.т.н. Г.Я. Вагін (м. Нижній Новгород, Росія)

д.т.н. І.В. Волков (м. Київ)

д.т.н. І.В. Жажеленко (м. Маріуполь)

д.т.н. В.Г. Кузнецов (м. Київ)

д.т.н. А.В. Праховник (м. Київ)

д.т.н. Б.С. Роговський (м. Вінниця)

д.т.н. О.С. Яндульський (м. Київ)

к.т.н. Д.Б. Банін (м. Київ)

к.т.н. С.Є. Вакулєнко (м. Київ)

к.т.н. В.О. Гінайло (м. Київ)

к.т.н. С.М. Пересада (м. Київ)

к.ф.н. А.П. Пушкар (м. Київ)

к.т.н. С.Я. Меженний (м. Київ)

к.т.н. В.І. Мозирський (м. Київ)

к.т.н. Е.П. Островський (м. Київ)

к.т.н. Д.Я. Розинський (м. Київ)

Б.П. Біда (м. Київ)

Л.Т. Вінниченко (м. Київ)

Ю.С. Громадський (м. Київ)

В.Б. Ямпольський (м. Київ)

Технічний редактор:

Н.М. Музиченко (м. Київ)

Засновник та видавець:

ВАТ Інститут «Київпромелектропроект»,  
ТОВ «ЕТІН»

Адреса редакції:

02660, м. Київ-2, вул. М. Раскової, 21

Тел./факс (044) 517-40-98

Тел. (044) 517-43-09; (044) 517-18-08

E-mail: etin@kper.relc.com;

kper@kper.relc.com

Оригінал-макет та друк

ТОВ «ДІА»

03022, м. Київ-22, вул. Васильдівська, 45

тел./факс. (044) 455-91-52

E-mail. dia@onconet.kiev.ua

За достовірність інформації та реклами відповідальність несуть автори та рекламодавці.

Редакція може не поділяти точку зору авторів статей. Редакція зберігає за собою право редагувати і скорочувати зміст статей.

Надслані матеріали не повертаються. Передрук та використання матеріалів можливе тільки з письмового дозволу редакції.

Наукові статті зараховуються як фахові згідно з постановою президії ВАК України №4-05/07 від 03.06.2004 р.

Богаченко И.Н., докт.техн.наук.  
Балота С.Н., канд.техн.наук

## СИНТЕЗ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТОЛЩИНЫ ПОЛОСЫ ТОНКОЛИСТОВОГО СТАНА ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ НА БАЗЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

При реализации устройств позиционирования механизмов многих промышленных объектов в качестве привода применяются электрохимические системы переменного тока (ЭМС ПРТ). Такие системы начинают широко внедряться на прокатных станах вместо ЭМС постоянного тока, позволяя обеспечивать необходимые быстродействие, надёжность функционирования, снижение эксплуатационных затрат.

Одним из механизмов прокатного стана, где по многим критериям целесообразно применение ЭМС ПРТ, является нажимное устройство рабочей клетки. С его помощью устанавливается начальный зазор между валками на прокатку полосы определённого профиля размера, осуществляется перемещение нажимных винтов при автоматическом регулировании толщины полосы на станах горячей прокатки или регулирование межклетевого натяжения на станах холодной прокатки. К системе регулирования нажимных устройств чистовых клеток тонколистового стана горячей прокатки предъявляются повышенные требования по быстродействию при недопущении перерегулирования при отработке задания на перемещение. Её структура должна учитывать наличие в механизме люфтов и сухого трения, отвечать требованиям системы автоматического регулирования толщины полосы.

Указанные обстоятельства обуславливают необходимость синтеза системы управления ЭМС ПРТ с учетом наличия люфтов и нелинейного трения [1], а также проектирования системы автоматического регулирования толщины полосы (САРТ) на базе синтезированной системы управления.

На рисунке 1 приведена структурная схема ЭМС ПРТ для нажимного устройства одной рабочей клетки. Данная схема состоит из программируемого контроллера ПК, формирующего управляющий сигнал для частотного преобразователя ЧП на основе алгоритма позиционного регулирования, электродвигателя переменного тока М, редуктора РД, нажимного винта и датчика перемещений ДП этого винта. На схеме показано, что каждая клеть имеет два нажимных винта – правый и левый (соответственно на схеме индекс П и Л). Схема регулирования предусматривает электрическую синхронизацию перемещения нажимных винтов, которая достигается согласованием управляющих воздействий, вырабатываемых контроллером.

### АЛГОРИТМ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ТОЧНОЙ ЛИНЕАРИЗАЦИИ

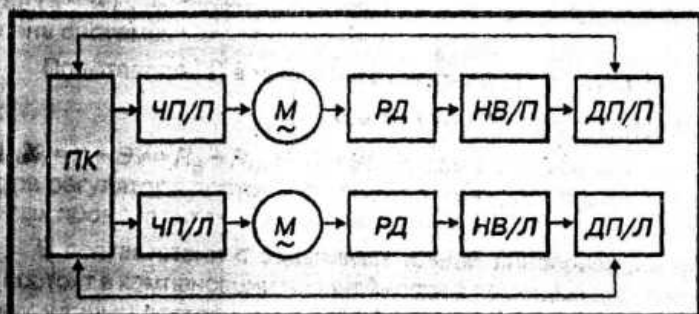


Рис.1. Структурная схема позиционирования на базе ЭМС ПРТ для одной клетки

Структурная схема двухмассовой ЭМС с учетом упругих свойств вала, люфта и трения представлена на рис.2. При составлении схемы учтено, что параметры нажимного винта (нагрузки) приводятся к стороне двигателя и перемещение нажимного винта пересчитывается в его угол поворота [2].

Данная нелинейная система описывается с помощью системы уравнений:

$$x = A(x) + B(x) \cdot u; \quad y = C(x), \quad (1)$$

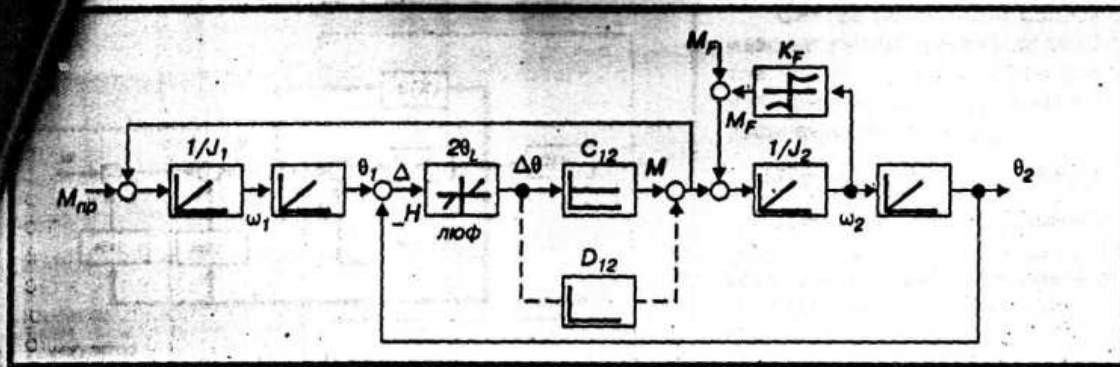


Рис. 2. Структурная схема двухмассовой ЭМС

где

$$A(x) = \begin{bmatrix} -\frac{1}{J_1} C_{12} f_L(\theta_1 - \theta_2) \\ \omega_1 \\ -\frac{1}{J_2} C_{12} f_L(\theta_1 - \theta_2) - f(\omega_2) \\ \omega_2 \end{bmatrix}; \quad B(x) = \begin{bmatrix} \frac{1}{J_1} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}; \quad C(x) = \theta_2; \quad x = \begin{bmatrix} \theta_1 \\ \omega_1 \\ \theta_2 \\ \omega_2 \end{bmatrix}. \quad (2)$$

На первом этапе синтеза регулятора положения трение в системе не учитывается, так как считают, что воздействие линейной части трения, скорее всего, будет положительным из-за ее смягчающей характеристики [1]. В качестве выходного сигнала системы принимают угол нагрузки (перемещение). Система содержит одну нелинейность в виде характеристики люфта, которая приближенно описывается с помощью функции [3]

$$\Delta\theta = f_L(\Delta\theta) = \Delta\theta - \theta_H \operatorname{th} \left( \frac{\Delta\theta}{\theta_H} \right). \quad (3)$$

Для синтеза нелинейного регулятора используется метод точной линеаризации — линеаризация вход-выход [3]. Данный метод предполагает учет только основной нелинейности. Основная идея точной линеаризации состоит в том, чтобы для нелинейной модели найти такое нелинейное преобразование управляющих воздействий (алгоритм точной линеаризации)

$$u = V(x) + L(x) \cdot w, \quad (4)$$

при котором на множестве  $X$  система линейна или эквивалентна линейной модели. Здесь  $w$  — новое управляющее воздействие;  $V$  и  $L$  — соответственно функции регулирования и фильтрации.

Для точной линеаризации системы вход-выход выбирают следующий алгоритм линеаризации:

$$u = \frac{1}{L_B L_A^{\rho-1} C(X)} \left( w - \sum_{i=0}^{\rho-1} k_i L_A^i C(X) \right), \quad (5)$$

где  $L_B L_A^{\rho-1}$  и  $L_A^i$  — сложные производные Ли соответственно матриц  $B, A$ ;  $\rho$  — относительная степень системы.

Подставляя (4) в уравнение системы (1), получаем:

$$\dot{X} = R(X) + F(X) \cdot w; \quad Y = C(X),$$

$R(X) = A + BV = R_S + R_N$ ,  $F(X) = BL$ . Рассматриваемая задача сводится к определению параметров регулятора состояния, параметров фильтра и нелинейного регулятора, с помощью которых производится линеаризация нелинейной функции люфта [3].

В соответствии с заданиями точной линеаризации функции нелинейного регулятора состоят в компенсации нелинейности с помощью элемента  $R_N(X)$  и регулировании системы переменным состоянием с помощью элемента  $R_S(X)$ , а фильтр  $F(X)$  используется для преобразования управляющего сигнала. Общая структура регулирования представлена на рис. 3.

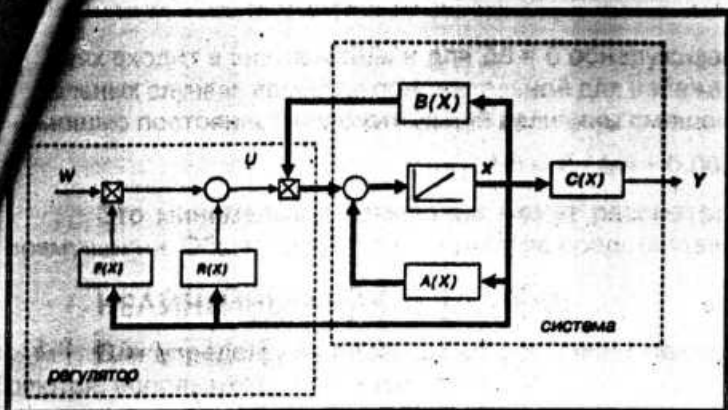


Рис. 3. Общая структура регулирования при точной линеаризации вход/выход

выражений (4)...(5) путем нахождения сложных производных Ли с учетом выходной матрицы  $C(X)$ . В результате получают выражения:

$$F(X) = \frac{k_0}{C_{J,w}} \frac{1}{f'_L(\Delta\theta)}; \quad (5)$$

$$R_N(X) = -J_1 C_{J,w} J_{\Sigma} f'_L(\Delta\theta) + J_1 \frac{f''_L(\Delta\theta)}{f'_L(\Delta\theta)} (\Delta\omega)^2; \quad (6)$$

$$R_S(X) = k_3 J_1 \Delta\omega + k_2 J_1 \frac{f'_L(\Delta\theta)}{f'_L(\Delta\theta)} + \frac{k_1}{C_{J,w}} \frac{\omega_2}{f'_L(\Delta\theta)} + \frac{k_0}{C_{J,w}} \frac{\theta_2}{f'_L(\Delta\theta)}; \quad (7)$$

где  $f'_L(\Delta\theta)$  и  $f''_L(\Delta\theta)$  — соответственно первая и вторая производные функции приближенного описания люфта;  $J_{1,2} = J_1 J_2$ ;  $J_{\Sigma} = J_1 + J_2$ ;  $C_{J,w} = \frac{C_{12}}{J_{12}}$ .

При синтезе регулятора необходимо обращать особое внимание на то обстоятельство, что при аппроксимации функции люфта с помощью уравнения (3) система не наблюдаема и не управляема только для  $\Delta\theta = 0$ . Учитывая, что первая производная  $f'_L(\Delta\theta)$  во всех трех

Синтез регулятора состояния производят путем сравнения коэффициентов линейного регулятора состояния с коэффициентами характеристического уравнения системы [4]

$$\eta(s) = k_0 + k_1 s + k_2 s^2 + \dots + k_{r-1} s^{r-1} + s^r.$$

Для обеспечения устойчивости системы коэффициенты задаются таким образом, чтобы корни характеристического уравнения располагались в левой полуплоскости комплексной плоскости.

Параметры фильтра  $F(X)$ , нелинейного регулятора  $R_N(X)$  и регулятора состояния  $R_S(X)$  определяют на основе

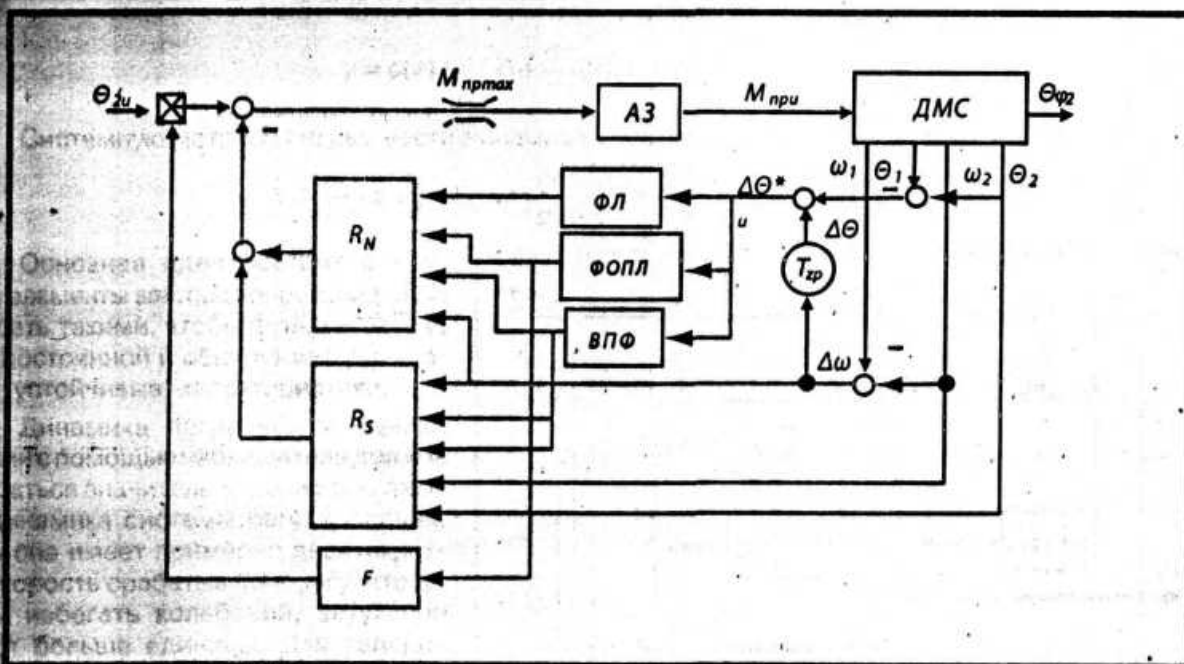


Рис. 4. Структура регулятора, синтезированного на основе метода точной линеаризации: ФЛ — функция люфта; ФОПЛ — функция, обратная первой производной функции люфта; ВПФ — вторая производная функции люфта; АЗ — апериодическое звено первого порядка



случаях входит в знаменатель и для  $\Delta\theta = 0$  обнаруживает только контакт с нулем, а во всех остальных случаях является положительной для избежания деления на нуль, её реализуют с помощью постоянной положительной величины смещения нуля:

$$f_L(\Delta\theta) \approx f_L(\Delta\theta) + 0,002.$$

Это минимальное изменение может рассматриваться как эвристическая функция возмущения. Общая структура регулятора представлена на рис.4.

### НЕЛИНЕЙНЫЙ НАБЛЮДАТЕЛЬ

Для определения переменных состояния механической системы, которые не измеряются, используется наблюдатель состояния [3], который способен регистрировать характеристики в области люфтов. Для рассмотрения принимается нелинейный наблюдатель, синтез которого производится посредством линеаризации. По структуре этот наблюдатель очень близок к линейному наблюдателю [4].

Наличие в системе люфтов приводит к системе, которая частично является неуправляемой и ненаблюдаемой в области люфтов. Устойчивость регулятора и наблюдателя достигают созданием в наблюдателе искусственного положения покоя.

Принцип линейного и нелинейного наблюдателя состоит в получении параллельной к системе модели, причем, модель и система имеют те же входные величины. Погрешность между выходными сигналами системы и модели используется для того, чтобы через вектор подналадки изменять оцененные параметры состояния модели  $\tilde{x}$  таким образом, чтобы свести к нулю их отклонения от параметров состояния системы  $x$  [4].

Для синтеза наблюдателя посредством линеаризации используют уравнение, описывающее систему и определяющее отклонения выходных величин:

$$\dot{x} = \varphi(x, v) = A(x) + B(x)v; \quad Y = C(X). \quad (9)$$

Принципиальная структура наблюдателя представлена на рис. 5.

Чтобы вообще иметь возможность задания линейной динамики погрешности в точке  $x = \tilde{x}$  производят линеаризацию системной функции системы  $\varphi(x, v)$  и уравнения выхода  $c(x)$  разложением функции системы  $\varphi(x, v)$  в ряд Тейлора с обрывом разложения после первого элемента:

$$\begin{aligned} \dot{x} &\approx \varphi(\tilde{x}, v) + \frac{\partial \varphi}{\partial x}(\tilde{x}, v)(x - \tilde{x}); \\ y &\approx c(\tilde{x}) + \frac{dc}{dx}(\tilde{x})(x - \tilde{x}). \end{aligned} \quad (10)$$

Системную матрицу погрешности динамики наблюдателя  $S(\tilde{x}, v)$  получают в виде

$$\dot{\tilde{x}} = \left[ \frac{\partial \varphi}{\partial x}(\tilde{x}, v) - P(\tilde{x}, v) \frac{dc}{dx}(\tilde{x}) \right] \tilde{x} = S(\tilde{x}, v) \tilde{x}. \quad (11)$$

Основная идея состоит в том, чтобы элементы вектора коррекции  $P(\tilde{x}, v)$  выбирать такими, чтобы функция  $S(\tilde{x}, v)$  была постоянной и обнаруживала желаемые (устойчивые) характеристики.

Динамика погрешности оценки величин с помощью наблюдателя должна выбираться значительно более быстрой, чем динамика системы регулирования. Здесь она имеет примерно десятикратную скорость срабатывания регулятора. Чтобы избежать колебаний, затухание задают больше единицы. Для задания динамики используют характеристический полином динамики погрешности, который определяется как детерминант выражения

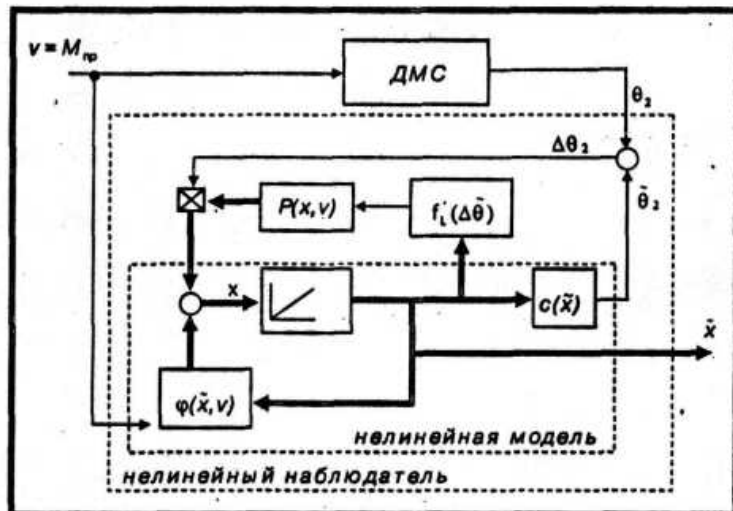


Рис. 5. Структура нелинейного наблюдателя



## ОБЩАЯ СТРУКТУРА РЕГУЛИРОВАНИЯ

Общая структура замкнутого контура с нелинейным регулятором положения и обратной связью по переменным состояния показана на рис. 7. По существу она соответствует структуре регулирования с помощью полного вектора состояния. При этом вместо неизмеримых переменных регулятор использует переменные состояния, полученные с помощью наблюдателя.

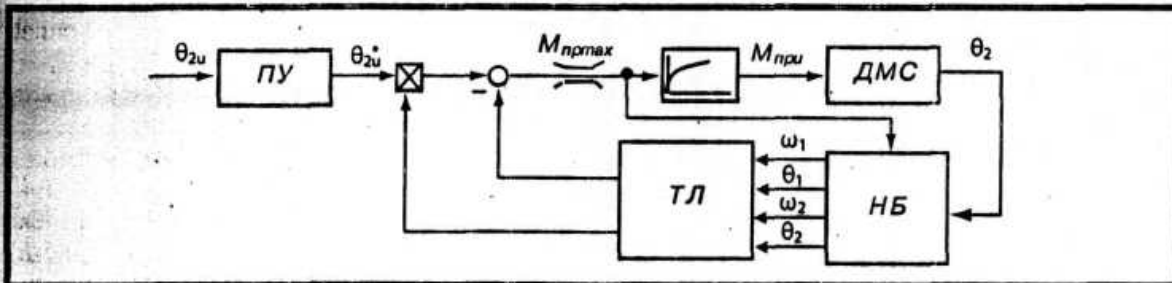


Рис. 7. Структура позиционного регулятора: ПУ – блок предварительного управления и компенсации трения; НБ – наблюдатель; ТЛ – блок точной линеаризации

Собственно регулятор относится к блоку "точная линеаризация". Для регулятора используют величины, полученные с помощью наблюдателя и с помощью измерений. Вместе с тем нужно избегать, чтобы в результате смешивания измеренных и наблюдаемых переменных состояния образовывались комбинации переменных, которые не являются физическими, как, например, задержка между изменением числа оборотов и вместе с ней производная от соответствующего угла могут привести к нежелательной характеристике регулирования.

## УЧЕТ НЕЛИНЕЙНОГО ТРЕНИЯ

Без дополнительных мероприятий влияние трения можно уменьшить повышением скорости регулирования и соответственно усиления [1]. Чтобы иметь возможность компенсировать трение, необходимо введение дополнительного элемента. Принципиально стационарной точности регулирования можно достичь посредством введения в регулятор И — составляющей. Однако, в случае нелинейного трения из-за интегратора возникают автоколебания [1]. Чтобы избежать этой проблемы, вместо интегратора используют управляемое апериодическое звено первого порядка с переменной обратной связью (рис. 8.). На вход управляемого апериодического звена подается рассогласование ( $\Delta\theta_2 = \theta_{2u} - \theta_2$ ), которое ограничивается значением  $\Delta\theta_{2max}$  и через сумматор подается на интегратор. При формировании обратной связи сигнал умножается на функцию управления  $f_{rap}(\omega_2)$ . Существенный признак управляемого апериодического звена – обратная связь через функцию управления  $f_{rap}(\omega_2)$ . В отличие от обратной связи с постоянным коэффициентом при умножении на функцию управления в итоге возникает множество возможностей гибкого вмешательства. Для учета нелинейного трения функция управления  $f_{rap}(\omega_2)$  была определена исходя из условия, что при увеличении угловой скорости нагрузки  $\omega_2$  усиление управляемого  $PT_1$  элемента должно уменьшаться.

Это особенно важно тогда, когда система переходит от трения покоя к скольжению. Поэтому функция управления должна зависеть от значения угловой скорости нагрузки  $\omega_2$ . Чтобы дополнительно ограничивать усиление в стационарном случае в функцию управления вводят постоянную составляющую. Таким образом, получаем следующую функцию управления  $f_{rap}(\omega_2)$ :

$$f_{rap}(\omega_2) = c_{rap} + d_{rap}|\omega_2|. \quad (17)$$

Для расчета используется выражение

$$c_{rap} = \frac{\Delta\theta_2}{M_{rap}(t \rightarrow \infty)}, \quad (18)$$

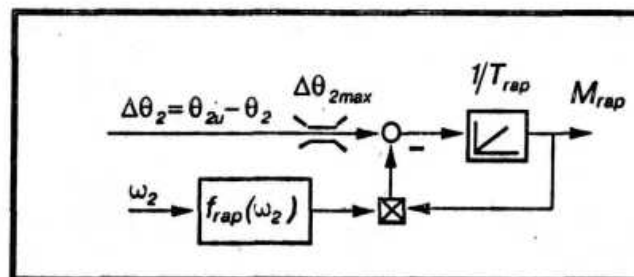


Рис. 8. Структура управляемого апериодического звена

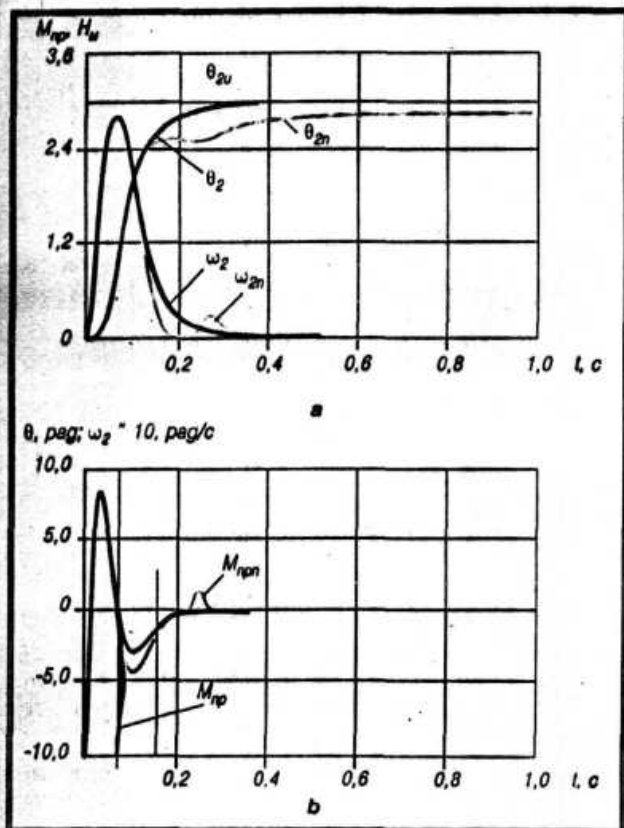


Рис. 9. Переходные характеристики системы регулирования с наблюдателем (индекс  $l$ ) и без наблюдателя: а — угла вала  $\theta_2$  и угловой скорости на стороне нагрузки  $\omega_2$ ; б — вращающего момента двигателя  $M_{np}$

Результаты моделирования системы позиционирования представлены на рис. 9, на котором наряду с углом на стороне нагрузки  $\theta_2$  и соответствующей угловой скоростью представлен также вращающий момент ( $M_{np}$ ). Для сравнения на этом рисунке дополнительно представлены соответствующие значения системы регулирования при использовании для обратной связи измеренных переменных состояния (непосредственное регулирование). Результат показывает принципиальную устойчивость регулирования с наблюдателем.

## ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТОЛЩИНЫ

Структурная схема САРТ с применением ЭМС ПРТ предложенной системы позиционирования, которая входит в состав АСУ ТП чистой группы клетей тонколистового стана горячей прокатки, приведена на рис. 10.

Основной задачей САРТ является стабилизация толщины полосы по длине и регулирование толщины по партии полос с целью получения заданного профиля прокатываемого металла, снижения разнотолщинности полос, возникающих из-за: нестабильности температуры подката, прокатки концевых участков полос без межклетевых натяжений, нестабильности толщины подката и его химического состава, изменения скорости прокатки, наличия глассажных меток.

При разработке алгоритмов функционирования САРТ используется математическое описание чистой группы клетей как объекта автоматизации [5]. Основными величинами, характеризующими пластическую деформацию металла в одной клетке, являются полное давление металла на валки  $F_l$ , момент, необходимый для вращения валков  $M_b$ , угол положения и толщина нейтрального сечения полосы  $\gamma_l$ ,  $h_{\gamma_l}$ , переднее и заднее натяжение полосы  $T_{l-1,j}$  и  $T_{l,j+1}$ . Особенностью непрерывной прокатки является то, что процессы пластической деформации металла во всех клетях влияют друг на друга через полосу.

Система реализует следующие функции:

- автоматическая настройка зазоров между рабочими валками клетей с помощью нажимных устройств с использованием математической модели;

где  $\Delta\theta_2$  — достигнутая стационарная точность регулирования, а  $M_{rap}(t \rightarrow \infty)$  соответствует моменту при закрытии люфта.

Переменная  $d_{rap}$  имеет значение для нестационарного случая. Если система начинает перемещаться, то растет функция управления и, соответственно, уменьшаются усиление обратной связи и движущий момент  $M_{rap}$ . Таким образом может предотвращаться режим автоколебаний. Влияние управляемого РТ<sub>1</sub>-звена ограничивается работой в режиме малых сигналов. Действие присоединения трения развивается только к концу процесса регулирования, когда почти достигнут верхний предел и угловая скорость мала.

В отличие от ПИ-регулятора состояния выходной сигнал  $M_{rap}$  непосредственно присоединяется к системе как вращающий момент. При этом управляемое РТ<sub>1</sub> звено включается параллельно к регулятору. Его действие развивается, если выход регулятора изменяется мало. Реакция этого блока коррекции не должна проводиться быстрее, чем медленное регулирование. Вместе с тем действие полного регулятора состояния и блока трения выгодным способом дополняют друг друга.

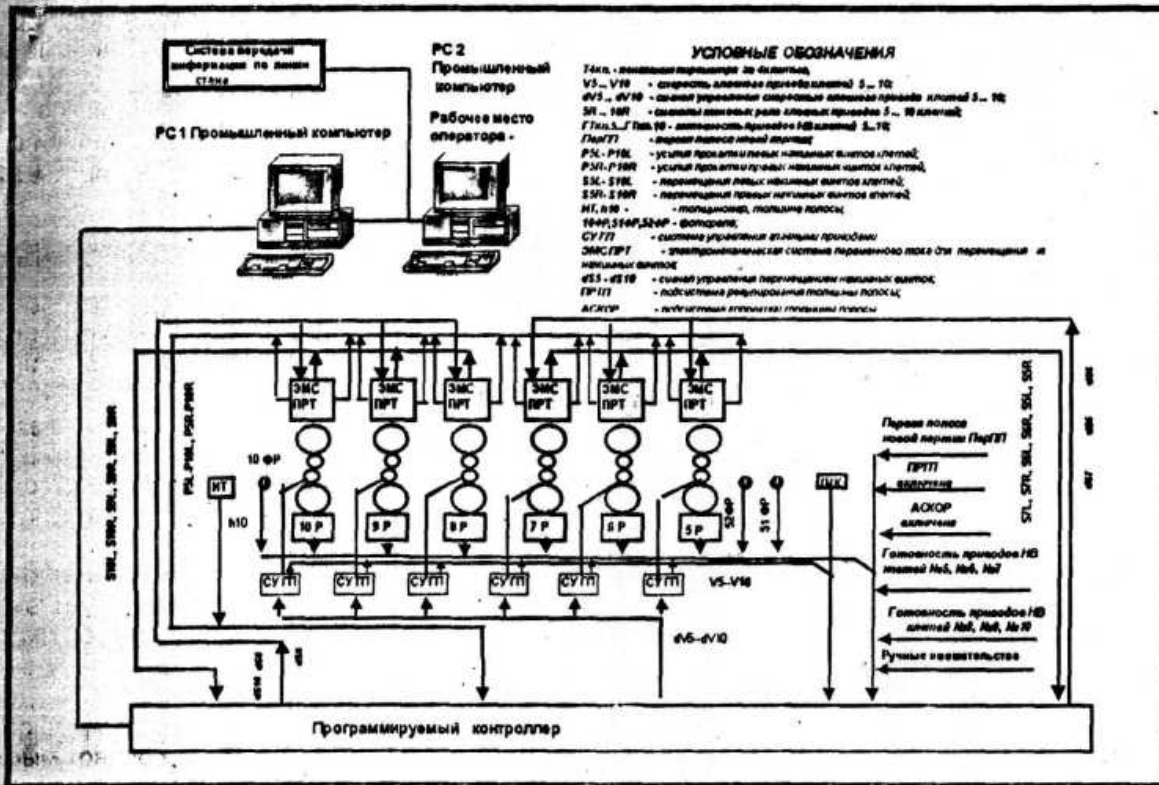


Рис.10. Структурная схема системы авторегулирования толщины полосы (САРТ)

- автоматическая корректировка положений нажимных винтов по температуре подката, давлению металла в клетях, скорости прокатки, при прокатке концевых участков полос;
- отображение и ввод информации о работе системы на станциях оператора;
- циклическое отслеживание по времени и запоминание значений важнейших параметров, обеспечивающее анализ аварийной ситуации с возможностью анализа действий оперативного персонала непосредственно в момент аварии и за определенный момент времени до ее наступления;
- обмен информацией между смежными подсистемами по сети.

Иерархически система выполняется двухуровневой. Верхний уровень реализуется на базе промышленных компьютеров, устанавливаемых на посту управления чистой группой клетей и в машзале вычислительной техники в виде операторских станций, а на нижнем уровне применяется программируемый контроллер. Основным средством визуализации и слежения за ходом технологического процесса являются операторские станции.

Технологическая информация о ходе ведения процесса прокатки поступает в программируемый контроллер как от смежных подсистем, так и от технологических датчиков, установленных в линии стана и на механизмах: значения усилий прокатки поступают от систем измерения усилий прокатки; значения температуры прокатываемых полос перед и после чистовых клетей и перед моталками поступают от датчиков температуры полосы (пирометров); значение толщины прокатанной в чистой группе полосы поступает от толщиномера, установленного за последней клетью. Дополнительно в систему поступают информационные сигналы о состоянии оборудования (готовность приводов к работе, переключение на резерв, аварийное состояние и проч.).

Построение САРТ на основе систем позиционирования на базе ЭМС ПРТ, синтезированных с учетом упругих свойств нажимного винта, люфтов и нелинейного трения, позволяет снизить погрешность регулирования и повысить качество прокатываемого металла.

## ВЫВОДЫ

1. Синтез системы позиционирования на базе ЭМС ПРТ с учетом упругих свойств нажимного винта, люфтов и нелинейного трения целесообразно производить, используя метод точной линеаризации, что позволит получить нелинейный регулятор положения с

очень хорошими динамическими свойствами и высоким качеством регулирования. При этом синтезированный регулятор отличается тем, что для двухмассовой ЭМС с люфтами динамика регулирования задаваемой величины может задаваться независимо от величины люфта.

2. Построение САРТ на базе микропроцессорной техники и ЭМС ПРТ с использованием математической модели прокатки позволяет снизить погрешность регулирования и в темпе с процессом производить стабилизацию выходной толщины полосы.

#### Литература

1. Синтез упрощенных структур двухмассовых электроприводов с нелинейной нагрузкой / Л.В.Акимов, В.Л.Долбня, В.Б. Клепиков, А.В. Пирожок. — Х., Запорожье: НГУ "ХПИ", ЗНГУ. — 2003. — 159 с.
2. И.Н. Богаенко, С.Н. Балюта, В.И. Васичкин, И.А. Опрышко Электромеханическая система позиционирования и электрической синхронизации // Вісник Технологічного університету Поділля. — №4. — 2005. — Ч.1. — Т.1. — С.7-13.
3. Мирошник И.В. Теория автоматического управления. Нелинейные и оптимальные системы. — СПб.: Питер, 2006. — 272 с., ил.
4. Мирошник И.В. Теория автоматического управления. Линейные системы. — СПб.: Питер, 2005. — 336 с., ил.
5. С.Н. Балюта, И.Н. Богаенко, В.И. Васичкин. Система авторегулирования толщины полосы на базе микропроцессорной техники. // Вісник Технологічного університету Поділля. — №2. — 2004. — Ч.1. — Т.1. — С.7-10.

МА

2005