

ДЕКОМПОЗИЦИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ МЕХАНИЗМА ПОДАЧИ ТРУБЫ СТАНА ХПТ-450*

Ю.С. Усынин, В.В. Остроухов

TUBE FEED MECHANISM ELECTROMECHANICAL SYSTEM'S DECOMPOSITION FOR THE COLD ROLLING MILL 450

Y.S. Usynin, V.V. Ostrouhov

В статье рассмотрен метод декомпозиции электромеханической системы, основанный на частотных характеристиках. Метод позволяет с помощью математической модели выявить элементы конструкции, оказывающие наибольшее влияние на работу механизма. В качестве примера рассматривается модель механизма подачи трубы стана ХПТ-450.

Ключевые слова: математическое моделирование, электромеханическая система, декомпозиция, частотный анализ, стан холодной прокатки труб.

Electromechanical system's decomposition based on frequency analysis is discussed in the article. Proposed method enables to detect the most important elements of design using a mathematical simulator. Cold rolling mill 450 tube feed mechanism's model is given for example.

Keywords: mathematical simulation, electromechanical system, decomposition, frequency analysis, cold rolling mill.

В статье рассматривается метод декомпозиции электромеханической системы (ЭМС) механизма подачи трубы стана ХПТ-450. Он позволяет выделить наиболее значимые элементы системы и определить, какие параметры конструкции требуют изменения. Метод декомпозиции основан на частотных характеристиках. Авторы отдают предпочтение асимптотическим логарифмическим частотным характеристикам, поскольку они обеспечивают прямой выход на параметры конструкции.

Метод предусматривает следующие операции:

1. Получение математического описания системы в виде структурной схемы, состоящей из звеньев не выше первого порядка.

2. Анализ влияния отдельных звеньев, контуров и связей на систему по частотным характеристикам.

3. Нормирование структурной схемы.

Стан холодной прокатки труб ХПТ-450 предназначен для производства холоднокатаных труб

из легированных углеродистых сталей с переменной толщиной стенки трубы диаметром до 450 мм. Такие трубы используются в атомной энергетике и авиационной промышленности. Привод подачи трубы выбран среди других механизмов поворотно-подающей группы потому, что технология предъявляет к нему наиболее жесткие требования, а стан ХПТ-450 - самый крупный стан холодной прокатки, и многие его параметры и режимы работы предельные и представляют научный интерес.

1. Структурная схема системы

В кинематической модели механизма (рис. 1) учтены податливость трубы и винта. При анализе системы сделаны следующие допущения [3]:

а) силы и моменты приложены к сосредоточенным массам m_1 и m_2 ;

б) упругие звенья У31 и У32 невесомы и характеризуются коэффициентами жесткости C_1 и C_2 ;

* Работа проводится в рамках реализации Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. «Энергосберегающие решения в металлургической и горнорудной промышленности с традиционными и новыми типами электроприводов».

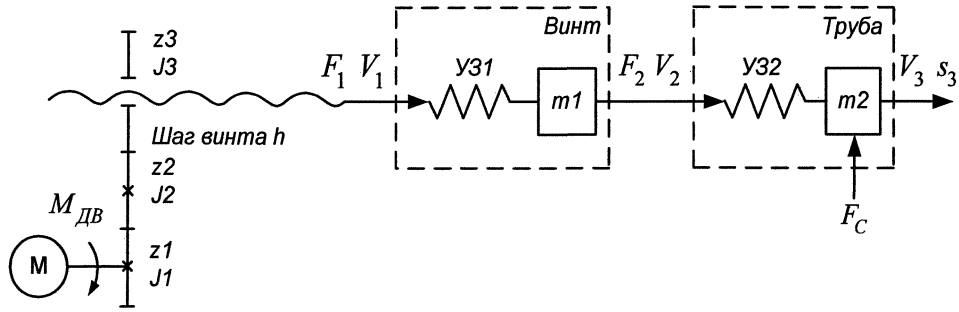


Рис. 1. Расчетная кинематическая схема механизма подачи

в) деформация упругих звеньев линейна и подчиняется закону Гука.

Структурная схема математической модели механизма показана на рис. 2. На схеме $n_{дв}$ - скорость вращения двигателя; $M_{дв}$, M_c - электромагнитный момент двигателя и момент сопротивления; J - момент инерции вращающихся частей; F_1, F_2 - силы реакции винта и трубы; $\mu_{вп}$ - КПД винтовой передачи; F_c - сила сопротивления поступательному движению; V_1, V_2, V_3 - линейные скорости концов винта и трубы; m_1, m_2 - массы винта и трубы; C_1, C_2 - коэффициенты жесткости винта и трубы; s_3 - перемещение конца трубы.

Коэффициент жесткости винта C_1 равен $26 \cdot 10^7$ Н/м. Коэффициент жесткости трубы, в зависимости от размеров, находится в диапазоне от 910^7 до $275 \cdot 10^7$ Н/м. Поступательная масса механизма подачи m_1 равна 17 500 кг, а масса трубы m_2 находится в диапазоне от 355 до 2800 кг. Значения остальных параметров приведены в [4].

В работе рассмотрены три типа электродвигателей. В качестве исходного варианта была взята модель синхронного двигателя с векторным управлением, примененного ВНИИ электроприводом на стане ХПТ-450П1 ОАО ЧТПЗ. Для обобщения ре-

зультатов рассмотрены другие модели синхронных двигателей, в том числе серии МТ, МТМ, МТВ краново-металлургических асинхронных двигателей, работающих в синхронном обратном режиме.

Среди машин постоянного тока рассматривались серии металлургических двигателей Д, ДП, МП, П; среди асинхронных - широко распространенная серия 4А и новая серия РА. Двигатели взяты мощностью от 50 до 500 кВт [3, 4].

2. Частотный анализ

На втором шаге методики проведем предварительный частотный анализ и рассчитаем частоты среза локальных контуров. Локальные контуры - это контуры без перекрестных обратных связей, т.е. без учета влияния соседних контуров [2].

Контур I (контур саморегулирования ЭДС двигателя) образован звеном якорной цепи, звеном момента инерции двигателя и обратной связью по ЭДС. Этот контур учитывает статические и динамические свойства вращающихся механических масс двигателя и редуктора.

Контур II (контур электромеханической связи) образован звеньями момента инерции двигателя, упругости винта и отрицательной обратной связью по реакции винта F_1 .

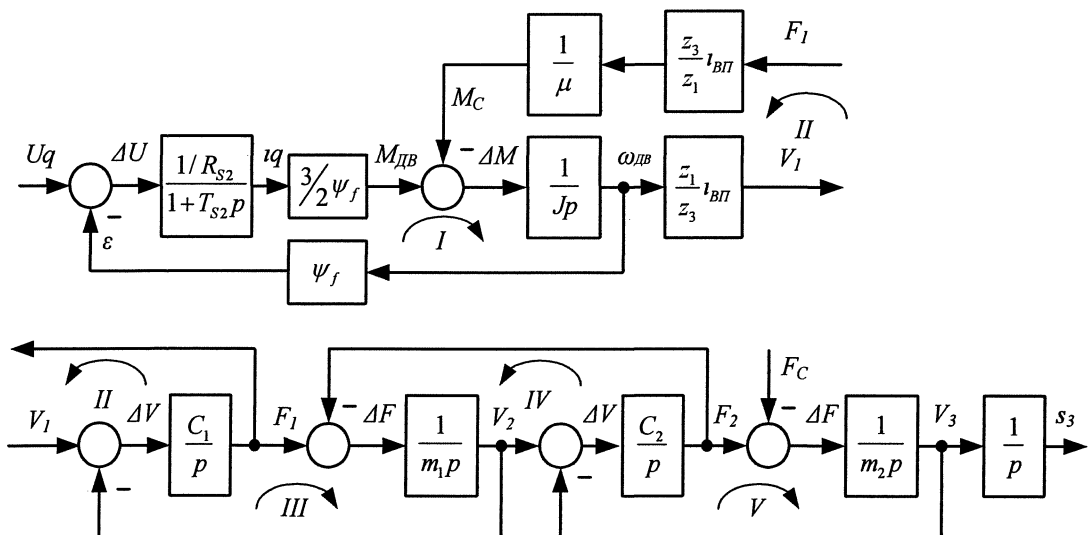


Рис. 2. Исходная структурная схема ЭМС

Контур III, образованный упругостью и массой винта, описывает движение одномассовой упругой механической системы, которая получается, если конец винта со стороны двигателя жестко зафиксировать. При этом в контуре наблюдаются колебания с частотой $\sqrt{C_1/m_1}$, которые в реальности затухают из-за неизбежных потерь энергии в силовых элементах.

Контур IV и V, образованные упругостями винта, трубы и их сосредоточенными массами, также описываются одномассовыми упругими механическими системами.

Поскольку частоты резонанса близки к частотам среза, при рассмотрении контуров как разомкнутых систем будем их считать таковыми.

Диапазоны частот среза локальных контуров, в зависимости от типа электродвигателя, указаны в таблице. На рис. 3 показаны зависимости частоты среза контура I от типа, модели и мощности электродвигателя.

Частоты среза контуров III, IV и V не зависят

от электродвигателя и определяются исключительно параметрами механизма.

Из таблицы и рис. 3 можно сделать предварительный вывод о том, что наибольшим быстродействием обладают асинхронные электродвигатели серии RA. Эти двигатели имеют на сегодняшний день наиболее совершенную конструкцию, поэтому их показатели лучше, чем у двигателей других серий, в том числе, широко распространенной серии 4A.

Частоты среза контуров I и II в синхронном приводе, примененном ВНИИэлектроприводом, оказались наименьшими. Это говорит о не вполне удачном выборе оборудования.

Также из таблицы следует, что частота среза контура трубы V значительно превышает границу диапазона частот электропривода [5], поэтому при дальнейшем исследовании упругие свойства трубы не учитываются, и она заменяется элементом с бесконечно большой жесткостью. В результате преобразований получено, что при бесконечно большой жесткости трубы, массу трубы можно

Диапазоны частот локальных контуров

Тип двигателя	Частота среза локального контура, рад/с				
	I	II	III	IV	V
Синхронный	5...25	50...70	120	70...400	500...1000
Постоянного тока	10...30	40...70			
Асинхронный	20...40	50...80			

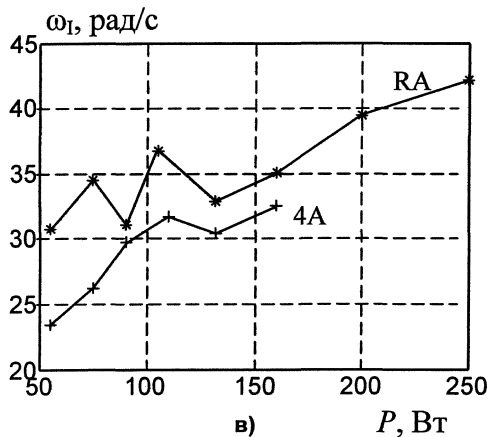
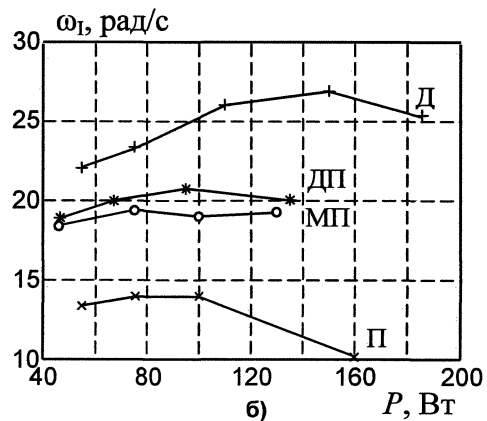
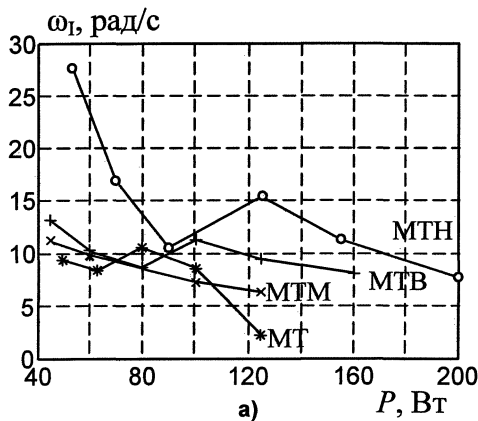


Рис. 3. Зависимость частоты среза контура I от мощности двигателя для различных серий двигателей:
а) синхронный двигатель;
б) двигатель постоянного тока;
в) асинхронный двигатель

объединить с массой винтов, а силу сопротивления F_c приложить к винтам. Таким образом, из структурной схемы исключаются контуры IV и V.

Для оценки влияния других звеньев системы построим асимптотическую частотную характеристику замкнутой системы (рис. 4). Асимптотическая ЛАЧХ L получается аппроксимацией нижних участков кривых ЛАЧХ L_n звеньев, включенных в прямой канал, и обратной ЛАЧХ $-L_{oc}$ канала обратной связи.

Из графика асимптотической ЛАЧХ видно, что канал обратной связи (электромеханическая связь) оказывает незначительное влияние на частотную характеристику замкнутой системы. Следовательно, электромеханическую связь можно исключить из структурной схемы.

Полученная ЛАЧХ соответствует характеристике «тяжелого» двигателя, когда частота среза контура I двигателя ω_1 меньше частоты резонанса упругой механической системы ω_2 . В этом случае условия для настройки регуляторов самые неблагоприятные из-за совместного влияния электромеханической инерции электродвигателя и колебательной механической системы [6].

На последнем этапе произведем нормирование структуры по общепринятой методике [1].

Величины угловых и линейных скоростей в ЭМС, величины моментов и усилий, частота и амплитуда токов и напряжений соответствуют номинальному режиму работы двигателя.

Полученная структурная схема (рис. 5) содержит только интегрирующие звенья. Физический смысл постоянных времени однотипен: постоянная времени каждого интегратора есть время, за которое выходная переменная каждого из звеньев изменяется от нуля до базового значения, если на входе этого звена действует неизменная во времени входная переменная, равная базовому значению. Например, звено с постоянной времени T_2 изменяет скорость \bar{V}_1 от нуля до базового значения за время T_2 при постоянном $\bar{M}_{дв}$, равном M_n .

Заключение

Таким образом, в результате применения метода декомпозиции ЭМС к модели механизма подачи трубы стана ХПТ-450 были получены следующие результаты.

1. Влияние процессов упругой деформации трубы на работу системы признано незначительным. Математическая модель упрощена за счет замены упругости трубы элементом с бесконечно большой жесткостью.

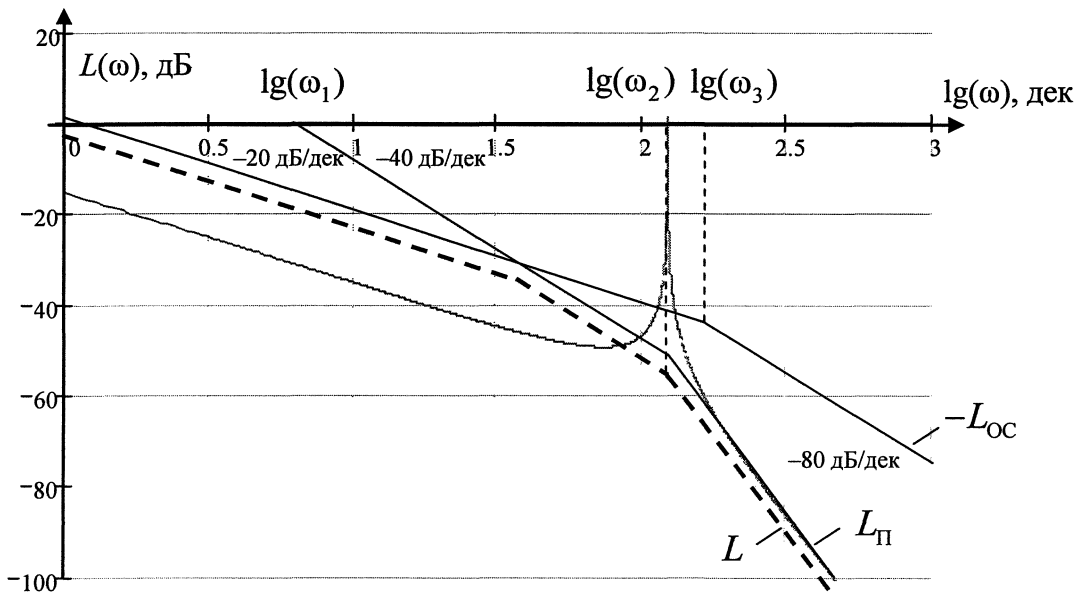


Рис. 4. ЛАЧХ замкнутой системы: реальная и асимптотическая

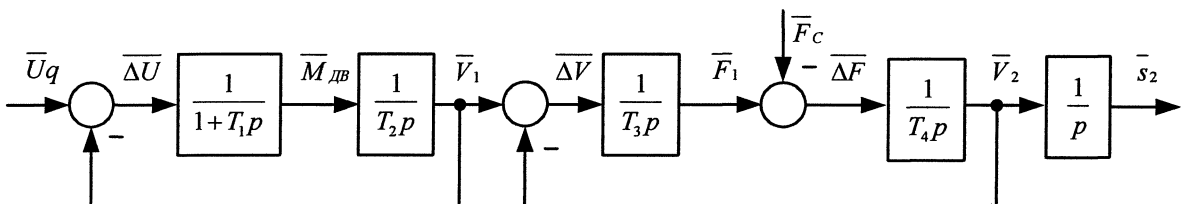


Рис. 5. Нормированная структурная схема

2. Выявлено значительное влияние электромеханической постоянной времени двигателя в существующем механизме ВНИИэлектропривода. На аналогичных механизмах можно применять двигатели с улучшенными динамическими характеристиками серии RA. Это позволит увеличить частоту среза контура саморегулирования ЭДС с 10 до 40 рад/с.

Рассмотренный метод декомпозиции применим для широкого класса ЭМС, и позволяет эффективно исследовать влияние конструктивных параметров на работу системы посредством анализа частотных характеристик.

Литература

1. Борцов, Ю.А. Тиристорные системы электропривода с упругими связями / Ю.А. Борцов, Г.Г Соколовский. -Л.. Энергия, 1979. -160 с.

2. Остроухое, В.В. Математическая модель неизменяемой части электропривода механизма подачи трубы стана ХПТ-450 / В.В. Остроухое // Наука ЮУрГУ материалы 61-й науч. конф. Секции техн. наук. - Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2009 -Т. 2.-С 78-82.

3. Справочник по электрическим машинам: в 2 т. /под общ.ред. ИЛ. Копылова, Б.К. Клокова. - М.. Энергоатомиздат, 1988. —Т.1.- 456 с.

4. Справочник по электрическим машинам: в 2 т. /под общ. ред. И.П. Копылова, Б.К Клокова. - М.: Энергоатомиздат, 1989. —Т. 2.-688с.

5. Ключев, В.И. Теория электропривода: учеб. для вузов / В.И. Ключев. — М.. Энергоатомиздат, 1985.-560 с.

6. Усынин, Ю.С. Системы управления электроприводов: учеб. пособие / Ю. С Усынин. - Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2004. - 328с.

Поступила в редакцию 30 июня 2009 г.