

УДК 62-83

В. Т. Вишнеревский, К. В. Овсянников, Г. С. Ленеvский

АНАЛИЗ СПОСОБОВ ПОСТРОЕНИЯ ЗАМКНУТЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ, СОДЕРЖАЩИМИ УПРУГИЕ ЭЛЕМЕНТЫ В МЕХАНИЧЕСКОЙ ПОДСИСТЕМЕ

UDC 62-83

V. T. Vishniareuski, K. V. Ovsyannikov, G. S. Leneuski

ANALYSIS OF METHODS OF CONSTRUCTING CLOSED LOOP CONTROL SYSTEMS FOR ELECTRIC DRIVES HAVING ELASTIC ELEMENTS IN THE MECHANICAL SUBSYSTEM

Аннотация

Рассмотрены способы построения замкнутых систем управления электроприводами постоянного тока, содержащими упругие элементы в механической подсистеме. Приведен анализ существующих решений для применения в указанной области. Дано краткое описание существующих способов создания систем управления, а также указаны основные преимущества и недостатки способов.

Рассмотрены способы подчиненного управления с применением дополнительных корректирующих устройств и без таковых. Указаны условия, при которых возможно применение того или иного способа при синтезе систем автоматического управления электроприводами таких установок, как шахтные подъемники. Сделаны выводы о целесообразности применения приведенных способов создания систем управления. Обоснована возможность использования наиболее перспективного на данный момент метода последовательно-параллельной коррекции.

Ключевые слова:

электропривод, система управления, упругие связи, способы управления, промышленные установки.

Abstract

The paper deals with the ways of constructing closed loop systems for controlling DC electric drives, which have elastic elements in the mechanical subsystem. The analysis of existing solutions for the application in this field is made. The paper briefly describes available methods of constructing control systems and also gives their main advantages and disadvantages.

It considers methods of subordinate control with the application of additional correcting devices and without them. The conditions are given under which it is possible to apply this or that method in the synthesis of automatic systems to control electric drives of such equipment as mine elevators. The paper makes conclusions about practical expediency of applying the methods of constructing control systems given in the paper. It also substantiates the possibility of using the method of series-parallel correction which is the most promising as of now.

Key words:

electric drive, control system, elastic links, control modes, industrial plants.

Технологические процессы в современном производстве постоянно совершенствуются. Вместе с тем постоянно возрастают требования к качеству продукции, производительности установок, а также к экономии электроэнергии, материалов и других ресурсов. Та-

ким образом, возникает необходимость создания более совершенных систем управления электроприводами промышленных установок, поскольку именно за счет средств электропривода можно наиболее рациональным путем достичь желаемых результатов.

В настоящее время в промышленности используется множество электроприводов, содержащих в механической части упругие звенья. Синтез качественных, эффективных и высокоточных систем управления такими электроприводами связан со многими затруднениями, поскольку приходится решать задачу управления исполнительным органом, который связан с приводным устройством посредством кинематической передачи, обладающей упругими свойствами.

Сохраняется роль в решении задач управления промышленными установками электропривода постоянного тока. Главным достоинством такого электропривода является относительная простота построения систем автоматического управления, обусловленная линейностью характеристик и отсутствием затруднений при прямом измерении координат.

Целью авторов являлось проведение сравнительного анализа существующих систем подчиненного управления электроприводами постоянного тока, в механической части которых содержатся упругие элементы.

Кинематические схемы рабочих машин во многих случаях содержат упругие элементы (длинные валы, тросы, торсионы, упругие муфты и т. д.). В тех случаях, когда упругий элемент обладает большой длиной или же величина скорости распространения волны упругой деформации достаточно мала, необходимо рассматривать механическую часть электропривода с учетом распределенности таких параметров, как масса и упругость. Строго говоря, абсолютно все системы обладают распределенными параметрами, однако не всегда существует необходимость их учета, поэтому в работе рассматриваются методы управления системами, которые при расчетах сводятся к конечномерным, в частности к двухмассовым, моделям систем электропривода [1].

Существующие способы построения систем управления электроприводами в данном случае рассматриваются применительно к электроприводам шахтных подъемных установок.

Подъемная установка представляет собой сложную многомассовую электромеханическую систему, в которой присутствуют упругие связи между сосредоточенными массами. Считается, что механизмы шахтных подъемных установок обладают слабой демпфирующей способностью [1], поэтому в них могут возникать колебательные явления при приложении внешних воздействий. Колебания, в свою очередь, приводят к динамическим нагрузкам, отражающимся на надежности работы и продолжительности срока службы оборудования. В качестве внешнего воздействия рассматривается движущее усилие, развиваемое приводным электродвигателем [1].

Увеличение надежности и долговечности может быть достигнуто снижением дополнительных динамических нагрузок путем ограничения колебательных процессов.

Работа подъемной установки во многом зависит от структуры системы автоматического управления электроприводом. Подбор структуры управления, подходящей для обеспечения требуемого оптимального режима, представляет собой весьма трудную задачу, т. к. подъемная установка в целом является сложной электромеханической системой, процессы в которой описываются, как правило, дифференциальными уравнениями высокого порядка, которые зачастую являются нелинейными. В связи с этим применение в системах управления указанными установками классических методов теории автоматического управления не является возможным [1].

Во многих случаях целесообразен учет распределенности параметров в математической модели механизма при

значительном влиянии резонансных частот на динамику системы [1].

Проблемы, возникающие при синтезе электроприводов указанных установок, связаны с ограничениями, накладываемыми на величину допустимого ускорения при подъеме, а также на допустимую амплитуду вибраций определенных частот [2].

Для использования при синтезе систем управления рассматриваются следующие основные способы.

1. Коррекция коэффициента усиления регулятора скорости в системе подчиненного регулирования.

2. Создание системы подчиненного регулирования с заведением обратной связи по производной от скорости исполнительного органа.

3. Создание системы подчиненного регулирования с заведением обратной связи по второй производной от скорости исполнительного органа.

4. Создание системы подчиненного регулирования с введением дополнительных обратных связей по разности скоростей двигателя и исполнительного органа.

5. Создание системы управления с модальным регулятором.

6. Создание системы управления с наблюдающим устройством.

7. Создание электромеханической системы, замкнутой по вектору состояния.

8. Создание системы управления с использованием полосно-заграждающего фильтра в контуре регулирования скорости.

9. Использование параллельной коррекции с косвенным измерением скорости исполнительного органа и с использованием гибкой обратной связи, заведенной на вход регулятора тока.

10. Создание системы подчиненного регулирования с использованием дополнительных параллельных корректирующих устройств.

При рассмотрении указанных способов управления не учитывается влияние малых постоянных времени.

Обобщенная структурная схема системы управления электроприводом с двумя сосредоточенными массами и упругим звеном в механической части представлена на рис. 1.

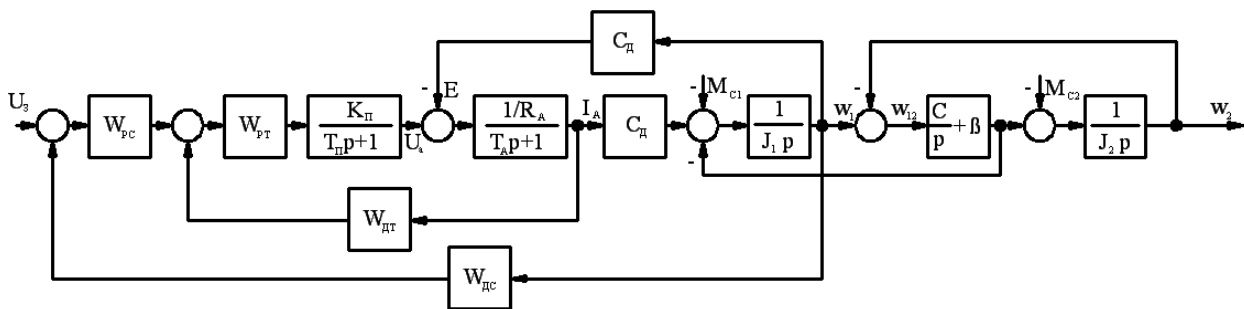


Рис. 1. Обобщенная структурная схема двухконтурной системы управления электроприводом с двумя сосредоточенными массами и упругим звеном

На рис. 1 приняты следующие обозначения: J_1, J_2 – моменты инерции приводного устройства и исполнительного механизма соответственно; C – упругость механической связи; β – коэффициент демпфирования колебаний; C_d –

конструктивный коэффициент двигателя; R_A – активное сопротивление якорной цепи двигателя постоянного тока; T_A – постоянная времени якорной цепи двигателя постоянного тока; K_{II} – коэффициент усиления полупроводникового преобразователя; T_{II} – постоянная

времени полупроводникового преобразователя; W_{PT} – передаточная функция регулятора тока; W_{PC} – передаточная функция регулятора скорости; W_{DT} – передаточная функция датчика тока; $W_{ДС}$ – передаточная функция датчика скорости.

Указанные выше способы создания систем управления подразделяются на две группы: способы с использованием дополнительных корректирующих устройств и без использования таковых [3].

Способ, основанный на коррекции коэффициента усиления регулятора скорости в двухконтурной системе подчиненного регулирования, показанной на рис. 1, не требует дополнительных корректирующих устройств. Данный способ дает удовлетворительный результат в определенных случаях. Основное преимущество заключается в том, что результат достигается гораздо проще, чем при использовании других способов. Недостатком является возможность применения способа только при большом значении коэффициента соотношения масс. Демпфирующая способность электропривода независимо от значения коэффициента регулятора скорости будет оставаться незначительной при значении коэффициента масс, лежащем в диапазоне от 1,1 до 1,2. Однако уже при соотношении масс более 2,5 существует принципиальная возможность сделать плавным движение исполнительного органа в результате выбора коэффициента регулятора скорости [3].

Система регулирования с дополнительной обратной связью по производной от скорости исполнительного органа дает результат, подобный увеличению коэффициента соотношения масс. Таким образом, если пренебречь малыми постоянными времени даже в системе, коэффициент соотношения масс которой приблизительно равен единице, можно получить переходные

процессы требуемой формы, несмотря на то, что в системе без дополнительной обратной связи движение электропривода имеет явно колебательный характер [3–5].

Система регулирования с дополнительной обратной связью по второй производной от скорости исполнительного органа в сравнении с предыдущим вариантом обладает меньшим быстродействием. Также возникает необходимость в уменьшении значения коэффициента регулятора скорости, которое влечет за собой повышение значения статической погрешности. Данный способ применим и при значении коэффициента соотношения масс, близком к единице. Основным преимуществом является возможность использования способа при гораздо больших значениях малых постоянных времени системы, чем при использовании предыдущего способа. Возможные трудности при реализации способа связаны с реализацией двойного дифференцирования значения сигнала скорости [4, 5].

Построение системы автоматического управления с обратной связью по разности скоростей аналогично использованию обратной связи по второй производной. Однако данный способ дает худший результат в отличие от предыдущего. Использование способа может являться полезным в том случае, когда невозможно осуществление обратной связи по скорости исполнительного органа [4, 5].

В управлении электроприводами с упругими звеньями также может применяться метод модального управления [6]. В данном случае целью является обеспечение заданного распределения корней характеристического полинома системы.

Важным достоинством модального управления является то, что для его реализации не требуется использование дополнительных корректирующих устройств, а введение модальных обратных связей не нарушает наблюдаемость и

управляемость объекта.

Структурная схема системы автоматического управления электроприво-

дом для данного метода приведена на рис. 2.

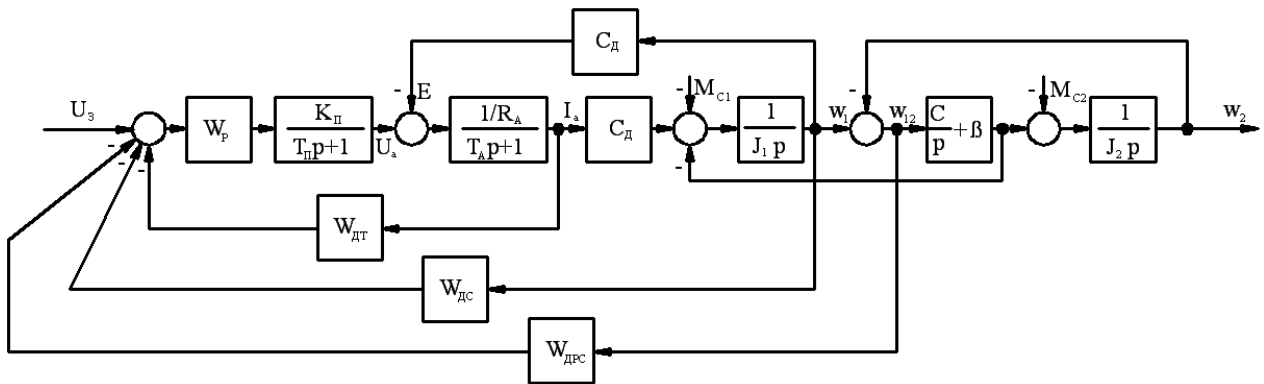


Рис. 2. Типовая структурная схема системы автоматического регулирования с использованием модального управления

В приведенной на рис. 2 структурной схеме используются обратные связи по току якоря приводного двигателя, скорости вала двигателя, а также обратная связь по разности скоростей двигателя и исполнительного органа [7].

Системы управления электроприводами с использованием наблюдающих устройств применимы в тех случаях, когда требуемые для осуществления необходимых обратных связей координаты вектора состояния электромеханической системы не поддаются прямому измерению. Чаще всего целесообразным является восстановление только части не поддающихся измерению координат системы [3, 5, 8].

При использовании данного способа может быть сложным измерение или моделирование возмущения, действующего на систему. Если значение момента статической нагрузки изменяется в процессе работы установки, то возможны ошибки при восстановлении значений координат с помощью наблюдающих устройств [3].

В отличие от рассматриваемых ранее систем, внешний контур которых представляет собой контур регулирования скорости, существует возмож-

ность реализовать внешние связи не только по скорости двигателя и исполнительного механизма, но и по упругому моменту. Такие системы строятся с сохранением внутреннего токового контура для управления током якоря приводного электродвигателя. Поскольку скорости приводного вала и исполнительного механизма являются координатами механизма, можно говорить, что система замкнута по вектору состояния [3].

Существует способ коррекции в системах с большим коэффициентом соотношения масс, связанный с введением настроенного на частоту резонанса системы полосно-заграждающего фильтра [9] на выходе регулятора скорости. Недостатком данного способа является высокая чувствительность системы к изменению параметров. Также на сегодняшний день весьма затруднительно экспериментальное определение собственных резонансных частот объектов управления. В связи с этим необходимо использовать самонастраивающиеся фильтры. Желаемый результат в данном случае достигается путем исключения из управляющего воздействия гармоник, близких к резонансной частоте

те объекта управления. Таким образом, полоса пропускания электропривода расширяется вправо, преодолевая при этом значение частоты резонанса [3].

Также известен способ параллельной коррекции в системах управления электроприводами, основанный на использовании дифференцирующих отрицательных обратных связей по скорости двигателя. Однако использование этого способа является целесообразным только в тех случаях, когда амплитуда упругих колебаний якоря двигателя превосходит амплитуду колебаний исполни-

тельного механизма. Структурная схема системы управления в данном случае представляет собой двухконтурную систему с заведенной на вход регулятора тока гибкой обратной связью по скорости вала двигателя [10].

Существует вариант двухконтурной системы регулирования скорости с одним корректирующим устройством, включенным с выхода датчика тока на вход регулятора скорости [11]. Структурная схема системы подчиненного регулирования скорости электропривода в этом случае представлена на рис. 3.

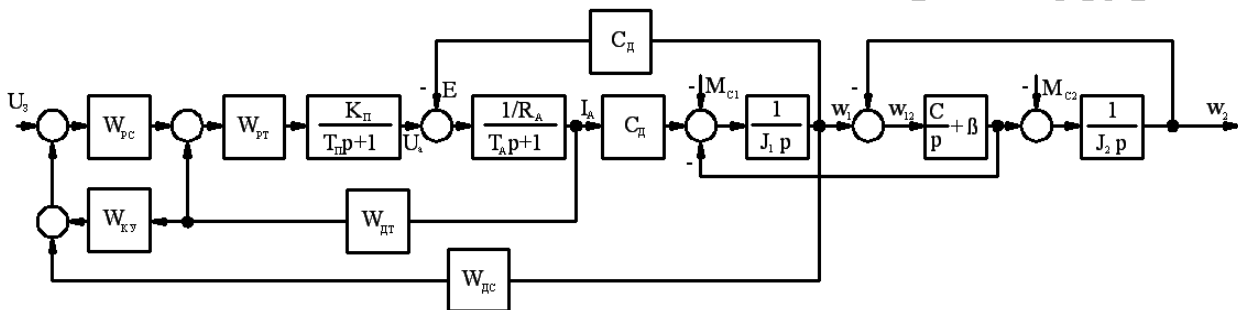


Рис. 3. Структурная схема системы подчиненного регулирования скорости электропривода с последовательно-параллельной коррекцией

При настройке параметры корректирующего устройства подбираются таким образом, чтобы ослабить влияние упругих колебаний на работу системы, практически не меняя характера переходных процессов по задающему воздействию в системе. Математическое моделирование полученной системы при найденных параметрах передаточной функции корректирующего устройства показало, что колебательность переходной характеристики значительно снизилась при практически неизменном времени регулирования по задающему воздействию. Также важен тот факт, что значительно повышается степень устойчивости системы. Однако следует отметить, что недостатками систем с последовательно-параллельной коррекцией является сложность расчета параметров корректирующих звеньев и

трудности при настройке [11].

Выводы

На основании описания рассмотренных способов управления электроприводами с упругими связями можно сделать вывод о том, что необходимо выбирать наиболее целесообразное решение для каждой конкретной ситуации. Множество расчетных схем электроприводов промышленных установок, используемых в настоящее время, имеет значение коэффициента соотношения масс, близкое к единице. В связи с этим возникает необходимость в применении способов управления с использованием дополнительных обратных связей и корректирующих устройств. В большинстве случаев скорость подъемного механизма не поддается измерению. Следовательно, необходимо восстанав-

ливать значение неизвестной координаты вектора состояния с помощью наблюдающих устройств с целью построения систем автоматического управления с использованием обратных связей.

В настоящее время наиболее перспективным для применения с целью синтеза систем управления электроприводами с упругими связями считается именно метод последовательно-парал-

лельной коррекции [11]. Такой выбор объясняется относительной простотой реализации, возможностью формировать гладкие графики переходных процессов в электроприводе практически без увеличения времени протекания переходных процессов, а также возможностью использования в системах, коэффициент соотношения масс которых близок к единице.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Католиков, В. Е.** Тиристорный электропривод с реверсом возбуждения двигателя рудничного подъема / В. Е. Католиков, А. Д. Динкель, А. М. Седунин. – М. : Недра, 1990. – 381 с. : ил.
2. Лифты : учебник для вузов / Под общ. ред. Д. П. Волкова. – М. : АСВ, 1999. – 480 с. : ил.
3. **Борцов, Ю. А.** Автоматизированный электропривод с упругими связями / Ю. А. Борцов, Г. Г. Соколовский. – СПб. : Энергоатомиздат, 1992. – 288 с.
4. **Борцов, Ю. А.** Тиристорные системы электропривода с упругими связями / Ю. А. Борцов, Г. Г. Соколовский. – Л. : Энергия, 1979. – 263 с.
5. **Башарин, А. В.** Управление электроприводами : учеб. пособие для вузов / А. В. Башарин, В. А. Новиков, Г. Г. Соколовский. – Л. : Энергоиздат, 1982. – 392 с.
6. **Кузовков, Н. Т.** Модальное управление и наблюдающие устройства / Н. Т. Кузовков. – М. : Машиностроение, 1976. – 184 с.
7. **Решетняк, С. Н.** Обоснование и выбор структур системы управления электроприводом шахтной подъемной установки : автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М., 2010. – 32 с.
8. **Анхимюк, В. Л.** Теория автоматического управления / В. Л. Анхимюк, О. Ф. Опейко, Н. Н. Михеев. – Минск : Дизайн ПРО, 2000. – 352 с. : ил.
9. **Джонсон, Д.** Справочник по активным фильтрам : пер с англ. / Д. Джонсон, Дж. Джонсон, Г. Мур. – М. : Энергоатомиздат, 1983. – 128 с. : ил.
10. **Егоров, В. Н.** Динамика систем электропривода / В. Н. Егоров, В. М. Шестаков. – Л. : Энергоатомиздат, 1983. – 216 с.
11. **Кольцов, С. В.** Последовательно-параллельная коррекция систем управления электроприводами с подчиненным регулированием параметров и упругими связями / С. В. Кольцов, О. В. Концевенко, К. В. Овсянников // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2010. – № 3. – С. 113–118.

Статья сдана в редакцию 28 марта 2012 года

Владимир Тадеушевич Вишнеревский, магистрант, Белорусско-Российский университет. Тел.: +375-295-45-19-54. E-mail: Vishnerevsky@mail.ru.

Константин Валерьевич Овсянников, канд. техн. наук, доц., Белорусско-Российский университет. Тел.: 8-0222-31-14-44.

Геннадий Сергеевич Ленеvский, канд. техн. наук, доц., Белорусско-Российский университет. Тел.: 8-0222-31-14-44.

Vladimir Tadeushevich Vishniareuski, master degree student, Belarusian-Russian University. Tel.: +375-295-45-19-54. E-mail: Vishnerevsky@mail.ru.

Konstantin Valeryevich Ovsyannikov, PhD, Associate Professor, Belarusian-Russian University. Tel.: 8-0222-31-14-44.

Gennady Sergeyeovich Lenevsky, PhD, Associate Professor, Belarusian-Russian University. Tel.: 8-0222-31-14-44.