

## УПРОЩЕНИЕ СТРУКТУРЫ ПРИВОДА ПОСТОЯННОГО ТОКА ПРИ СИНТЕЗЕ МЕТОДОМ РАЗМЕЩЕНИЯ ПОЛЮСОВ

Данная работа посвящена проблеме управления движением, а также анализу возможностей упрощения структуры приводов, синтезируемых методом размещения полюсов. Метод размещения полюсов дает широкие возможности для проектирования систем автоматического регулирования (САР) и теоретически позволяет обеспечить любые переходные характеристики [1]. Для приводов роботов и других манипуляционных механизмов обязательным требованием является отсутствие перерегулирования [2]. Оно должно выполняться при изменении параметров привода, в частности приведенного к валу двигателя момента инерции.

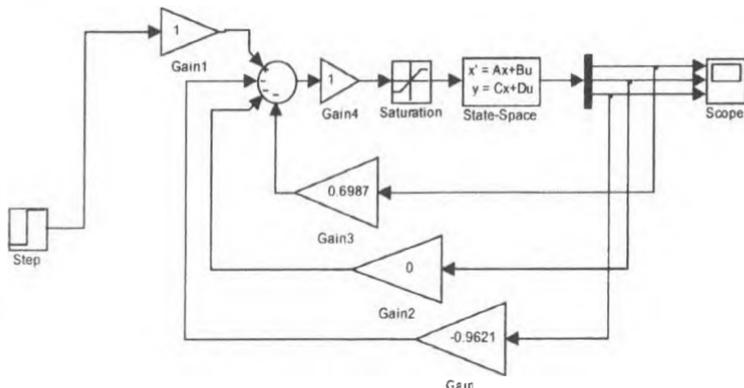
Недостатком систем, синтезированных данным методом, является достаточно сложная структура. Система получается многоконтурной, причем количество контуров обратной связи равно числу переменных состояния системы. Поверхностный анализ проблемы показывает, что в частных случаях коэффициенты в цепях обратной связи по отдельным переменным могут быть равны нулю, то есть данные обратные связи могут отсутствовать. Это позволяет упростить структуру привода, что имеет важное значение для производства промышленных роботов. Поскольку приводы устанавливаются непосредственно на звеньях робота, они должны иметь по возможности меньшие габариты и массу.

Приводы промышленных роботов часто строятся на основе двигателей постоянного тока и представляют собой САР по перемещению, которая имеет третий порядок. В качестве переменных состояния обычно принимают перемещение, скорость и ток двигателя. Для построения обратных связей указанные переменные должны измеряться, что требует соответствующих средств. Измерение скорости обычно производится тахогенератором. При отсутствии обратной связи по скорости тахогенератор не нужен. Это приводит не только к уменьшению массы и габаритов привода, но и упрощает управляющую часть. Однако это не должно ухудшать качество работы системы. Возможность практической реализации такого подхода требует дополнительного исследования, что является предметом данной работы.

Для решения поставленной задачи была разработана математическая модель привода на основе двигателя постоянного тока с обратными связями по перемещению, скорости и току двигателя в приложении SIMULINK среды программирования MATLAB, которая приведена на рисунке 1. Данная структура системы получается при синтезе методом размещения полюсов. С помощью данной модели исследована зависимость коэффициентов усиления в цепях обратной связи от расположения полюсов. Для обеспечения монотонности переходного процесса все полюсы принимались действительными.

Установлено, что при изменении значений полюсов в определенном диапазоне, коэффициенты обратной связи по скорости и току меняют знак. Это значит, что при определенном расположении полюсов один из коэффициентов равен нулю, как показано на рисунке 1, что фактически означает отсутствие обратной связи по соответствующей переменной. Кривые переходного процесса при указанных на рисунке 1 значениях коэффициентов приведены на рисунке 2. Данный рисунок показывает, что перерегулирование по углу поворота отсутствует, а время регулирования составляет примерно 10 с. Для некоторых роботов данное время поворота звена из одного крайнего положения в другое может быть приемлемым, для других требуется более высокое быстродействие.

Следует отметить, что нулевое значение коэффициента усиления в цепи обратной связи можно обеспечить при различных расположениях трех полюсов. Время регулирования в основном определяется положением доминирующего полюса (наименьшего по модулю). Наибольшее значение модуля, и соответственно, наименьшее время переходного процесса обеспечивается при одинаковом значении всех полюсов. Соответствующие кривые переходного процесса для данного случая приведены на рисунке 3.



**Рисунок 1 – Математическая модель привода робота в приложении SIMULINK**

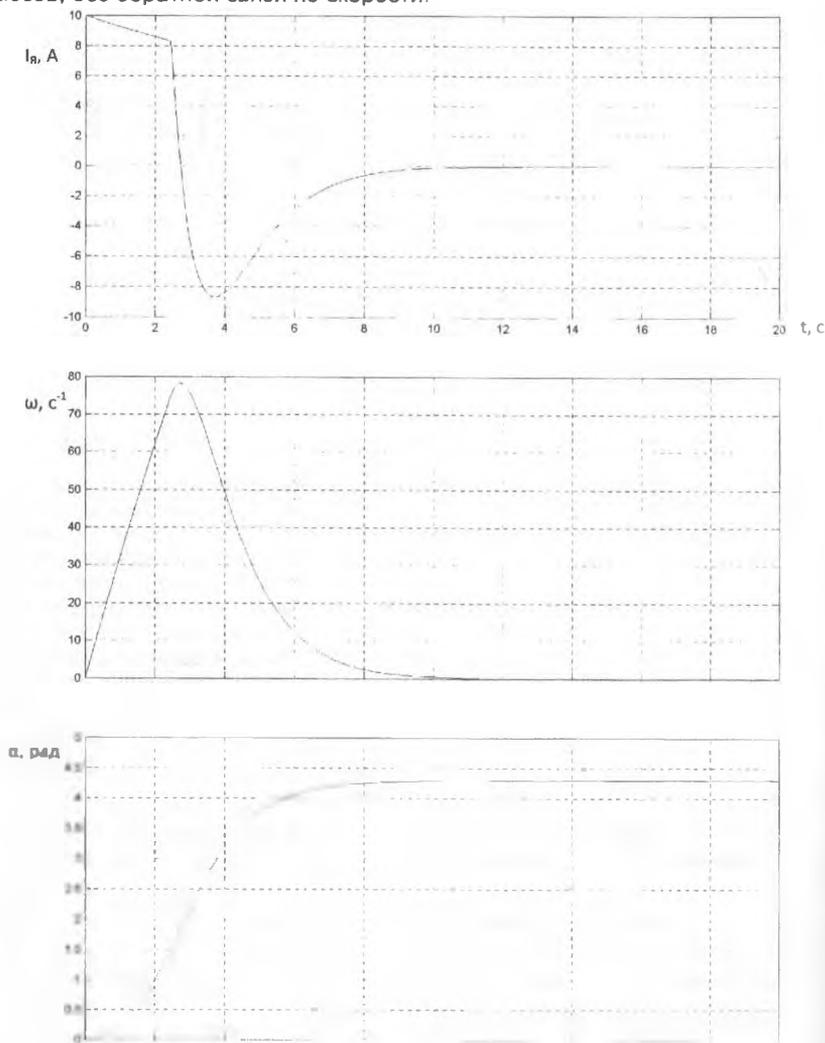
Как следует из приведенного рисунка, время регулирования сократилось до 4,5 с и это значение является предельным. Меньшее время регулирования для данного привода обеспечить нельзя при условии отсутствия обратной связи по скорости. Следует, однако, отметить, что в процессе отработки максимального угла поворота наибольшее достигнутое значение угловой скорости (около  $80 \text{ с}^{-1}$ ) примерно в 3,5 раза ниже номинального значения для используемого двигателя. При этом передаточное отношение редуктора принято равным 63.

Следовательно, уменьшив передаточное число, можно повысить скорость перемещения и соответственно, уменьшить время регулирования до 1...2 с. Таким образом, обеспечиваемые показатели качества переходного процесса являются вполне приемлемыми для приводов манипуляционных роботов и для них можно реализовать на практике привод, синтезированный методом размещения полюсов, при отсутствии обратной связи по скорости. Следует отметить, что значения двух других коэффициентов близки к единице, что благоприятно с точки зрения практической реализации. Это обеспечивает возможность задания требуемого углового перемещения напряжением в пределах нормируемого уровня 0...10 В.

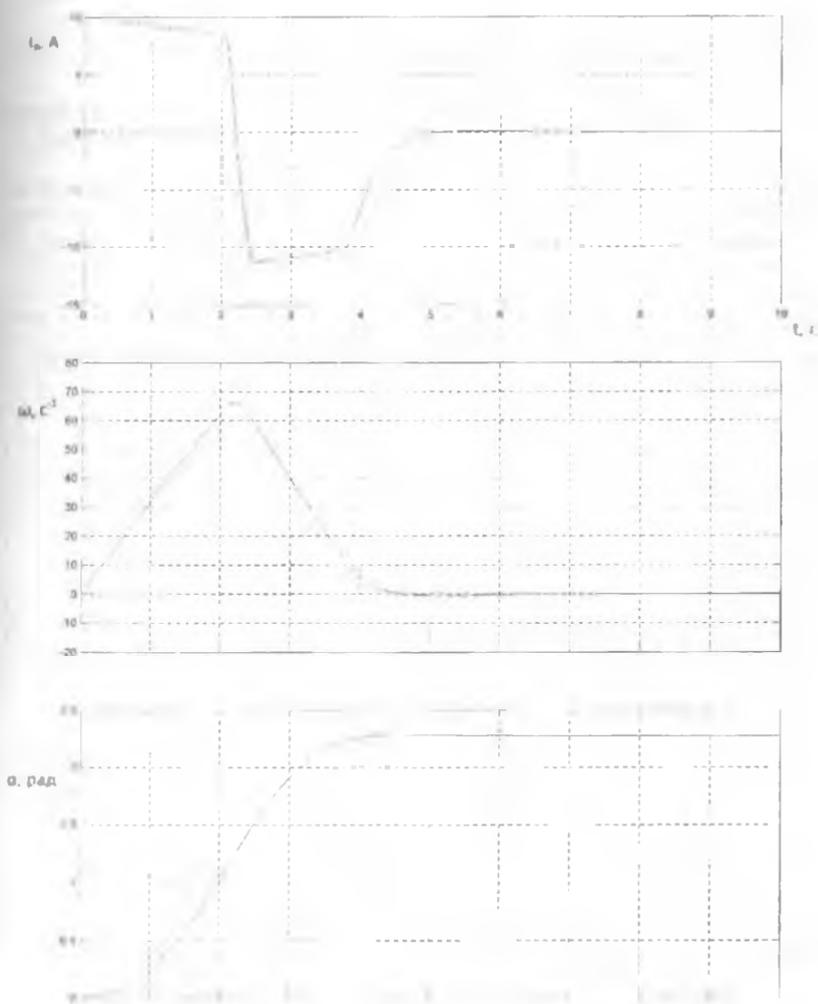
Исключение обратной связи по току также теоретически возможно, хотя для привода робота оно менее актуально, поскольку измерительный резистор имеет меньшие габариты, чем тахогенератор и может располагаться в источнике питания (не на подвижном звене). Это обеспечивается при больших по модулю значениях полюсов. Соответственно, переходный процесс получается более коротким (для исследуемого привода примерно 0,4 с). Однако коэффициенты усиления в цепях обратной связи по углу и скорости получаются чрезвычайно большими (до  $4,5 \cdot 10^5$  по углу и 80 по скорости), что делает невозможной практическую реализацию привода. Требуемый угол поворота задается в этом случае высоким напряжением, что приводит к ограничению сигнала ошибки усилителем

и переходу системы в нелинейный режим. Анализ показал возможность возникновения в системе предельных циклов (автоколебаний) с большой амплитудой.

Учитывая вышеизложенное, можно сделать вывод, что для приводов манипуляционных роботов с невысокими скоростями перемещения можно построить привод постоянного тока, синтезированный методом размещения полюсов, без обратной связи по скорости.



**Рисунок 2 – Кривые изменения тока  $I_{Я}$ , угловой скорости  $\omega$  двигателя и угла поворота выходного звена  $\alpha$  в переходном процессе**



**Рисунок 3 – Кривые изменения тока  $I_a$ , угловой скорости  $\omega$  двигателя и угла поворота выходного звена  $\alpha$  в переходном процессе при кратных значениях полюсов**

**Список цитированных источников**

1. Филипс, Ч. Системы управления с обратной связью / Ч. Филлипс, Р. Харбор.– М.: Лаборатория базовых знаний, 2001. – 356 с.
2. Накано, Э. Введение в робототехнику: Пер. с японск / Э. Накано. – М.: Мир, 1988. – 334 с.