

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ НЕЛИНЕЙНОГО РЕГУЛЯТОРА СОСТОЯНИЯ ПЕРЕМЕННОЙ СТРУКТУРЫ В ЭЛЕКТРОПРИВОДАХ С НЕЖЕСТКОЙ МЕХАНИКОЙ

ЛЕБЕДЕВ С.К., канд. техн. наук, ГНЕЗДОВ Н.Е., инж.

Представлена методика оптимизации параметров нелинейного регулятора состояния электропривода с вязкоупругими кинематическими связями в целях снижения чувствительности к вариации параметров механики. Приведены рекомендации по применению пакета Simulink Response Optimization для рассматриваемой системы.

*Ключевые слова:* нелинейный регулятор состояния переменной структуры, электроприводы с нежесткой механикой, робастность системы.

## THE OPTIMIZATION OF NONLINEAR CONTROL OF VARIABLE STRUCTURE CONDITION PARAMETERS IN ELECTRIC DRIVES WITH FLEXIBLE MECHANICS

LEBEDEV S.K., Ph.D., GNEZDOV N.E., engineer

The article deals with the methods of parameters optimization of nonlinear control of electric drive with viscoelastic kinematic bonds condition in an effort to reduce sensibility to mechanics parameters variations. It gives the recommendations about application of Simulink Response Optimization the system under consideration.

*Key words:* nonlinear control of variable structure condition, electric drives with flexible mechanics, system robustness.

Нелинейный регулятор состояния переменной структуры [1, 2] (рис. 1) эффективно демпфирует колебания механических переменных (скоростей двигателей  $\Omega_{дв}$  и рабочей машины  $\Omega_{рм}$ , вязкоупругого момента  $M_{ув}$ ) в системах многодвигательного электропривода с нежесткой механикой. Для ограничения вязкоупругого момента используется переход с безынерционного регулятора состояния на структуру компенсации вязкоупругого момента. Компенсатор обеспечивает монотонные переходные процессы в замкнутом контуре вязкоупругого момента при постоянном сигнале на его входе.

Работа остановок с нежесткой механикой в большинстве случаев сопровождается широкой вариацией параметров вследствие изменения геометрии механизма (движение зеркала антенны, изменение положения схвата манипулятора в пространстве, длины каната

подъемника), присоединенных масс (масса переносимого груза) и физических свойств материалов (нагревание, старение). Кроме того, параметры системы при расчете задаются с определенной погрешностью, связанной либо с невозможностью их точного определения, либо с инструментальной погрешностью.

Поэтому для создания работоспособной системы с объектами такого класса необходимо либо реализовывать регуляторы в классе адаптивных систем, либо обеспечить робастность системы в рамках заданного качества процессов.

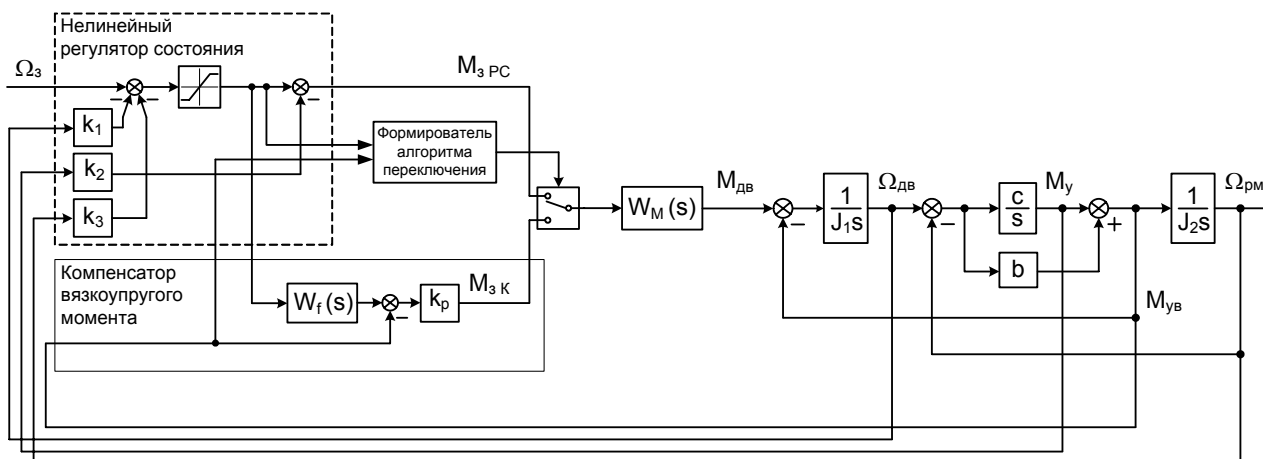


Рис. 1. Структурная схема нелинейной системы управления электроприводом с нежесткой механикой

Одним из подходов к решению поставленной проблемы является поиск значений параметров регулятора, при которых система управления обладает заданными динамическими свойствами при вариации значений параметров объекта в определенных пределах. Инструментом, помогающим в этом, является пакет прикладных программ Simulink Response Optimization [3]. Этот пакет реализует метод динамической оптимизации при заданных ограничениях сигнала и неопределенностях параметров. Блок Signal Constraint (рис. 2) из библиотеки пакета можно подключить к регулируемому сигналу, а затем задать список настраиваемых параметров и ограничения на переходный процесс в системе. Задав дополнительно список и пределы изменения неопределенных параметров, можно получить результат, обеспечивающий робастность системы.

Simulink Response Optimization автоматически преобразует наложенные временные ограничения и неопределенности параметров в оптимизационную задачу. Для решения этой задачи указанный пакет итерационно вызывает ряд симуляций оптимизируемой системы, сравнивает результаты симуляций с наложенными ограничениями и применяет градиентные методы для настройки параметров в целях лучшего удовлетворения критериев оптимизации.

Перед запуском процесса оптимизации пользователь должен определить ряд настроек, влияющих на длительность процесса и точность результата. На основе опыта применения Simulink Response Optimization и знания особенностей работы нелинейного регулятора состояния получены приведенные ниже рекомендации по использованию прикладного пакета для нелинейной системы управления электроприводом с нежесткой механикой (рис. 1).

Следует накладывать ограничения на одну регулируемую координату в модели, исходные значения параметров регулятора задавать не произвольным образом, а равными рассчитанным методом стандартных коэффициентов [1], и наконец, погрешность соблюдения ограничений задавать максимально допустимой. В противном случае Simulink может не найти решения оптимизационной задачи.

Использование в нелинейном регуляторе состояния значений коэффициентов, полученных при оптимизации отдельно структуры с линейным регулятором состояния и контура компенсации вязкоупругого момента, приводит к необходимости усложнения алгоритма переключения структуры регулятора для сохранения монотонности изменения упругого момента. Поэтому предпочтительнее проводить оптимизацию системы в целом.

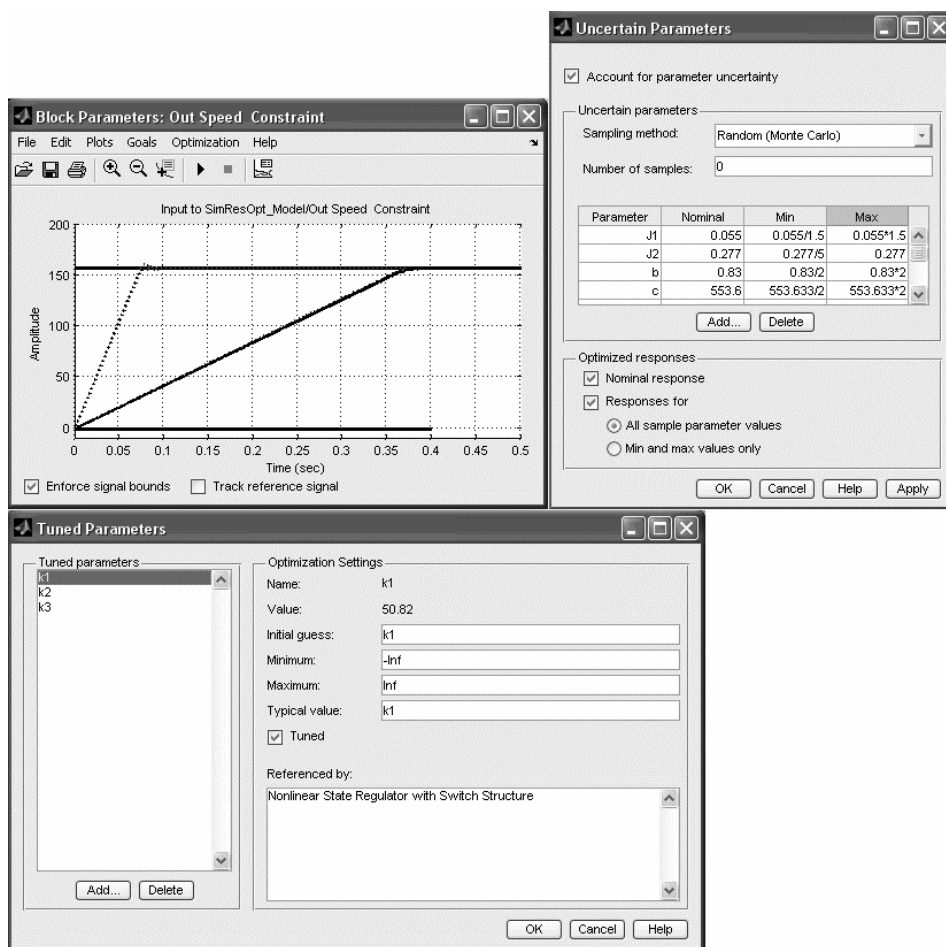


Рис. 2. Окна блока Signal Constraint

Контур компенсации вязкоупругого момента обладает достаточной робастностью, поэтому при оптимизации в качестве настраиваемых можно выбирать только коэффициенты регулятора состояния  $k_1, k_2, k_3$ .

Увеличение момента инерции рабочей машины  $J_{рм}$  приводит к возрастанию времени успокоения и усилению демпфирующих свойств рассматриваемой системы. А поскольку в блоке Signal Constraint ограничения накладываются на временную характеристику сигнала, то при задании неопределенных параметров максимальное значение  $J_{рм}$  следует принять равным исходному.

Наконец, необходимо стремиться к получению близких друг к другу значений коэффициентов регулятора, изменяя ограничения или погрешность их соблюдения, так как при существенном различии значений коэффициентов значительно усложняется реализация регулятора в микропроцессорной системе.

Применим пакет Simulink Response Optimization для рассматриваемой системы (рис. 1) с учетом приведенных выше рекомендаций. Для этого создадим модель системы в пакете Simulink со следующими исходными параметрами механики, экспериментально определенными на реальной установке:  $J_{дв} = 0,055 \text{ кгм}^2$ ;  $J_{рм} = 0,277 \text{ кгм}^2$ ;  $c = 553,633 \text{ Нм/рад.}$ ,  $b = 0,83 \text{ Нмс/рад.}$  Исходные параметры регулятора рассчитаны методом стандартных коэффициентов при настройке на биномиальное распределение корней характеристического уравнения системы и имеют следующие значения:  $k_1 = 50,82$ ;  $k_2 = 23,58$ ;  $k_3 = 801,13$ ;  $k_p = 175,63$ .

В качестве настраиваемых выберем коэффициенты регулятора состояния  $k_1, k_2$  и  $k_3$ . Исходя из технических требований к разрабатываемой системе, примем, что параметры механики могут изменяться в следующих пределах:  $J_{дв}$  – на 50 %;  $J_{рм}$  – в 5 раз;  $c$  и  $b$  – в 2 раза.

На переходный процесс  $\Omega_{рм}$  наложим следующие ограничения (рис. 2): перерегулирование  $\sigma = 0 \%$ ; время успокоения  $t_y \leq 0,4 \text{ с}$ , что соответствует показателям системы при исходных параметрах механики. Погрешность соблюдения ограничений примем равной 0,01.

После успешного завершения процесса оптимизации получаем следующие значения коэффициентов регулятора:  $k_1 = 64,09$ ;  $k_2 = 65,42$ ;  $k_3 = 1127,9$ .

Наибольшее ослабление демпфирующих свойств системы (рис. 1) имеет место при наибольшем отношении  $J_{дв} / J_{рм}$ , наименьших значениях  $J_{рм}$  и  $b$  и наибольшем значении  $c$ . Именно при таких значениях параметров механики приведены характеристики системы до и после оптимизации (рис. 3, 4).

Отметим, что при исходных параметрах механики полоса пропускания системы после оптимизации (рис. 4, кривая 2а) снижается примерно в 2,5 раза. При необходимости обеспечения большего значения полосы пропускания следует рассчитать исходные коэффициенты регулятора для большего значения среднегеометрического корня и снизить  $t_y$  в ограничениях переходного процесса (рис. 2).

Таким образом, задача обеспечения робастности системы решена, т.е. обеспечено требуемое качество переходных процессов регулируемой координаты при вариации параметров механики в заданных пределах.

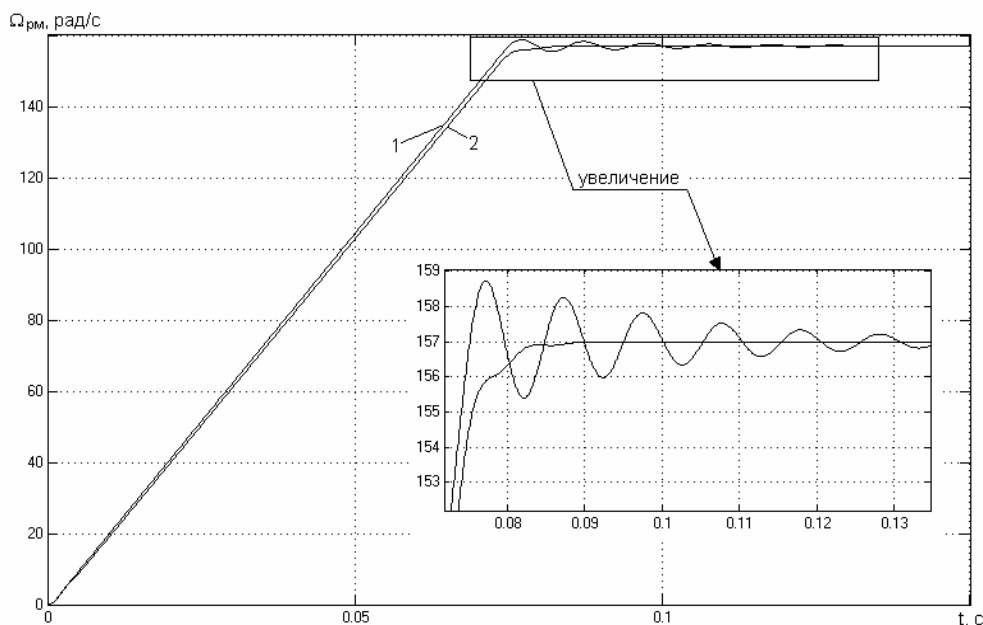


Рис. 3. Переходные процессы в рассматриваемой системе при  $J_{дв}^* = J_{дв} \cdot 1,5$ ;  $J_{рм}^* = J_{рм} / 5$ ;  $c^* = c \cdot 2$ ;  $b^* = b / 2$ : 1 – до оптимизации параметров регулятора; 2 – после оптимизации параметров регулятора

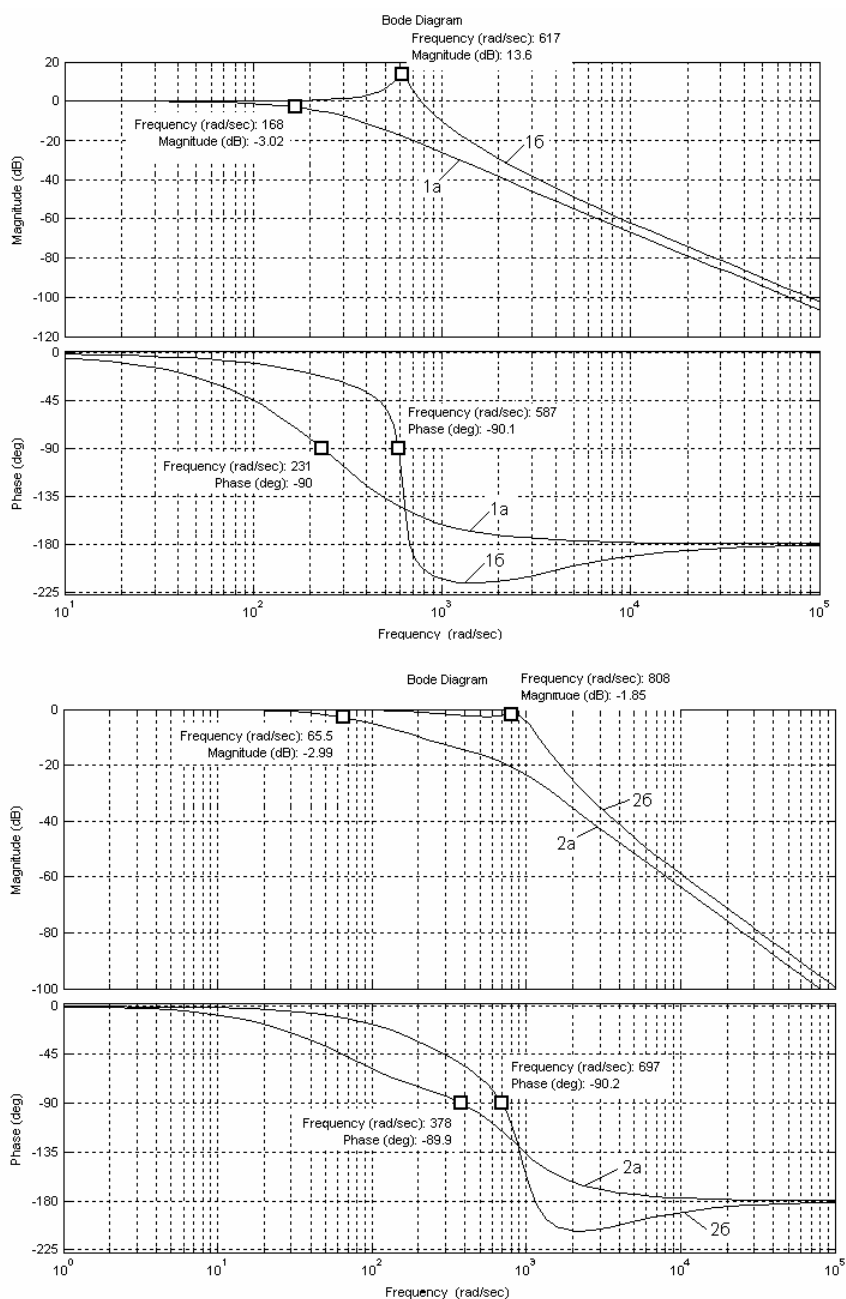


Рис. 4. Частотные характеристики системы: а – до оптимизации параметров регулятора; б – после оптимизации параметров регулятора; 1а, 2а – исходные параметры механики; 1б, 2б –  $J_{дв}^* = J_{дв} \cdot 1,5$ ;  $J_{рм}^* = J_{рм} / 5$ ;  $c^* = c \cdot 2$ ;  $b^* = b / 2$

Кроме того, применение предложенной методики оптимизации позволило избежать построения механизмов адаптации, а также разработки специальных алгоритмов оптимизации нелинейной системы управления.

#### Список литературы

1. Многомассовые нежесткие электромеханические системы с модальными регуляторами переменной струк-

туры / А.Б. Виноградов, В.Ф. Глазунов, Н.Е. Гнездов и др. // Вестник ИГЭУ. – 2003. – № 1. – С.44–51.

2. Система управления асинхронным электроприводом с нелинейным модальным регулятором переменной структуры / А.Б. Виноградов, В.Ф. Глазунов, Н.Е. Гнездов и др. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2005. – № 2. – С.40–45.

3. Simulink Response Optimization. Документация на продукт // MathWorks Inc. – Режим доступа: <http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/toolbox/slopti/m/>, свободный.

Лебедев Сергей Константинович,  
ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,  
кандидат технических наук, доцент кафедры электропривода и автоматизированных промышленных установок,  
телефон (4932) 26-97-07,  
e-mail: klgn@drive.ispu.ru

Гнездов Николай Евгеньевич,  
ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,  
инженер кафедры электропривода и автоматизированных промышленных установок,  
телефон (4932) 26-97-07,  
e-mail: klgn@drive.ispu.ru