

ПОИСК НАИБОЛЕЕ ВЕРОЯТНОГО ПРЕДЕЛЬНОГО РЕЖИМА ДЛЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СЕРВОПРИВОДА УПРАВЛЯЮЩЕГО ОРГАНА

А.А. ЕФИМОВ, *вед. инженер ФГУП ЦНИИмаш, канд. техн. наук,*

А.В. МУХИН, *вед. инженер ФГУП ЦНИИмаш, канд. техн. наук*

korolkov@mgul.ac.ru

ФГУП «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения» (ФГУП ЦНИИмаш)

141070, Московская область, г. Королев, ул. Пионерская, д. 4

Как известно, любой сложный динамический объект управления имеет большое количество физических параметров, которые в общем случае не могут быть определены точно или меняются в некоторых пределах со временем или от производства к производству самого объекта. При проектировании автоматической системы управления подобным объектом необходимо учитывать указанные разбросы на его параметры, поэтому принято находить некоторые предельные сочетания разбросов параметров объекта в смысле какого-либо функционала. Проектируемая система управления должна обеспечивать устойчивость и управляемость движения во всех найденных предельных режимах объекта управления. Нахождение сочетания разбросов на параметры объекта управления, которое определяет предельный режим, в общем случае задача не тривиальная; если физических параметров, на которые заданы разбросы, много, то решать задачу перебором слишком трудоемко, а дать экспертную оценку сложно. Поэтому в статье рассматривается алгоритм для поиска безусловного (в данном случае условного) локального экстремума функции, который относится к прямым методам, то есть опирается непосредственно на значения функции. Указанный алгоритм применен, для примера, к поиску предельного режима гидравлического сервопривода с некоторым количеством параметров, на которые заданы разбросы. Это такие параметры, как коэффициент усиления по управляющему току, давление питания, эквивалентная жесткость и т. д. В статье дано подробное описание алгоритма, выбран функционал для минимизации и показаны графические результаты поиска предельного режима.

Ключевые слова: система управления, предельный режим, алгоритм поиска экстремума функции.

Рассмотрим математическую модель линейного гидропривода управляющего органа. Передаточная функция (ПФ) гидропривода представлена в операторной форме Лапласа (1)

$$\frac{1}{T_3 S^3 + T_2 S^2 + T_1 S + 1}. \quad (1)$$

Коэффициенты ПФ (T_3 , T_2 , T_1) зависят от значений физических параметров гидропривода, на которые в общем случае задаются разбросы. Это могут быть следующие физические величины: коэффициент усиления по управляющему току, давление питания, эквивалентная жесткость, производная шарнирного момента по углу отклонения, постоянные времени усилителей.

Требуется определить такое сочетание разбросов на физические параметры (в условиях ограничения на разбросы), которое максимально отклоняет номинальные параметры гидропривода в сторону ухудшения его частотной характеристики и параметров переходного процесса.

Для решения данной задачи можно использовать известный метод Хука–Дживса, который служит для поиска безусловного (в нашем случае условного) локального экстре-

мума функции и относится к прямым методам, то есть опирается непосредственно на значения функции. Алгоритм делится на два этапа: исследующий поиск и поиск по образцу.

На первом этапе (исследующий поиск) задается стартовая точка (обозначим ее 1) и шаги h_i по координатам (физическим параметрам гидропривода). Затем замораживаются значения всех координат кроме первой и вычисляются значения функции в точках $x_0 + h_0$ и $x_0 - h_0$ (где x_0 – первая координата точки, а h_0 – соответственно значение шага по этой координате), после чего осуществляется переход в точку с наименьшим значением функции. В этой точке замораживаются значения всех координат, кроме 2-й, вычисляются значения функции в точках $x_1 + h_1$ и $x_1 - h_1$, далее следует переход в точку с наименьшим значением функции и т. д. для всех координат. В случае если для какой-либо координаты значение функции в исходной точке меньше, чем значения для обоих направлений шага, то шаг по этой координате уменьшается. Когда шаги по всем координатам h_i станут меньше заданных соответствующих ограничений ϵ_i , алгоритм завершается и точка 1 признается точкой минимума.

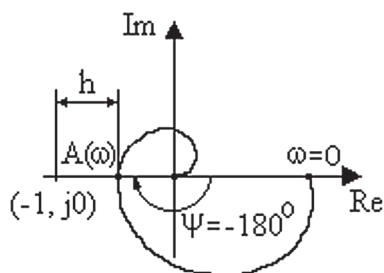


Рис. 1. Запас устойчивости гидропривода по амплитуде h

Fig. 1. A safety factor of the hydraulic drive at amplitude h

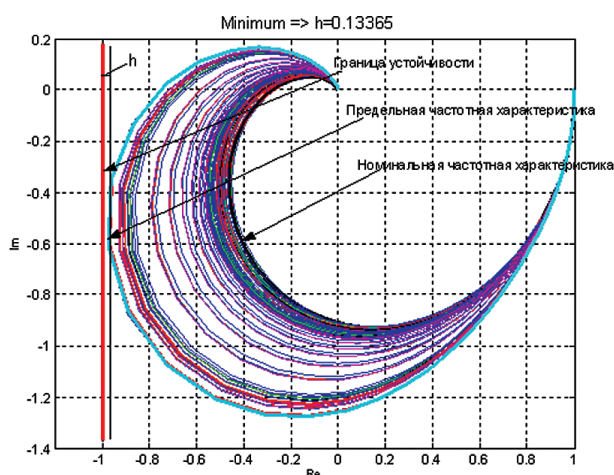


Рис. 2. Процесс поиска предельной частотной характеристики, начиная от номинальной

Fig. 2. The process of finding the limiting frequency response, from the nominal

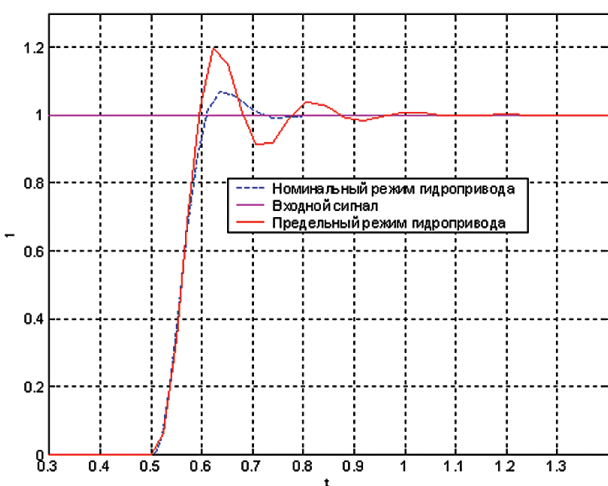


Рис. 3. Переходные процессы при воздействии единичного входного сигнала на гидропривод для номинального режима и найденного предельного режима

Fig. 3. Transients under the influence of a single input signal to the hydraulic actuator for the nominal mode and the found limit mode

Таким образом, проведя исследующий поиск по всем координатам, мы получим новую точку с наименьшим значением функции в окрестности (обозначим ее 2). Далее можно приступить ко второму этапу алгоритма – поиску по образцу.

На этапе поиска по образцу откладывается точка 3 в направлении от 1 к 2 на определенном расстоянии. Ее координаты получаются по формуле (2)

$$\bar{x}_3 = \bar{x}_1 + \lambda(\bar{x}_2 - \bar{x}_1), \quad (2)$$

где x_i – точка с номером i ;

λ – параметр алгоритма, который обычно выбирают равным двум ($\lambda = 2$).

Затем в новой точке 3 проводится исследующий поиск, как на 1-м этапе алгоритма, за исключением того, что шаг на этом этапе не уменьшается. Если в результате нового исследующего поиска удалось получить точку 4, отличную от точки 3, то точку 2 переобозначают на 1, а 4 на 2 и повторяют поиск по образцу. В случае если не удастся найти точку 4, отличную от точки 3, то точку 2 переобозначают на точку 1 и повторяют 1-й этап алгоритма – исследующий поиск.

В нашем случае в качестве минимизируемой функции выбрана величина функционала на множестве случайных разбросов параметров сервопривода, соответствующая величине запаса устойчивости гидропривода по амплитуде $h = |1 - A(\omega)|_{\psi(\omega)=-180^\circ} \rightarrow \min$ (рис. 1).

Использование адаптированного метода Хука–Дживса для поиска наиболее вероятного предельного режима для гидравлического сервопривода управляющего органа (передаточная функция (1)) в условиях разбросов на шесть физических параметров (и ограничений на них) дало следующие результаты:

а) процесс поиска предельной частотной характеристики гидропривода, начиная от номинальной точки, показан на рис. 2;

б) переходные процессы при воздействии единичного входного сигнала на гидропривод для номинального режима и найденного предельного режима показаны на рис. 3.

Условием выхода из цикла поиска предельного режима было то, что по прошествии десяти проходов описанного алгоритма минимизируемый функционал (величина за-

паса устойчивости по амплитуде h) более не уменьшался.

Выводы

Рассмотренный прямой метод поиска экстремума может быть использован для оптимизации или поиска предельных режимов сложных объектов управления с большим числом физических параметров.

Библиографический список

1. Игнат'ев, Е.А. Применение математических методов в технике / Е.А. Игнат'ев. – Киев: Наукова думка, 1976.
2. Шварц, Л. Математические методы для физических наук / Л. Шварц. – М.: Мир, 1965.
3. Аттетков, А.В. Методы оптимизации / А.В. Аттетков, С.В. Галкин, В.С. Зарубин // Математика в техническом

- университете. – Вып. XIV. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003.
4. Аверченков, В.И. Основы математического моделирования технических систем: учебное пособие / В.И. Аверченков, В.П. Федоров, М.Л. Хейфец. – М.: Флинта, 2011.
5. Гийон, М. Исследование и расчет гидравлических систем / М. Гийон – М.: Машиностроение, 1964.
6. Зайцев, Г.Ф. Теория автоматического управления и регулирования / Зайцев Г.Ф. – М.: Высшая школа, 1989.
7. Воронов, А.А. Основы теории автоматического регулирования и управления / А.А. Воронов – М.: Высшая школа, 1977.
8. Андриевский, Б.Р., Фрадков А.Л. Избранные главы теории автоматического управления с примерами на языке MATLAB / Б.Р. Андриевский, А.Л. Фрадков. – М.: Наука, 2000.
9. Поршнев, С.В. MATLAB 7. Основы работы и программирования. Учебник / С.В. Поршнев – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2006.
10. Иглин, С.П. Математические расчеты на базе Matlab / С.П. Иглин. – СПб.: BHV-Санкт-Петербург, 2005.

FINDING THE MOST LIKELY LIMITING REGIME FOR HYDRAULIC SERVO CONTROL BODY

Efimov A.A., FSUE TsNIIMash; Muhin A.V., FSUE TsNIIMash

korolkov@mgul.ac.ru

Central Research Institute of Machine Building (FSUE TsNIIMash), 4, st. Pioneer, Korolev, Moscow region, 141070, Russia

As it is known, any complex dynamic management object has a large number of physical parameters, which generally can not be defined precisely or vary to some extent with each production of the object. In the design of an automatic control system of such an object the spreads on its parameters are to be considered, so it was decided to find a combination of limiting spread of the parameters of the object in the sense of a certain functionality. The designed control system should provide stability and control over the motion in all the found limiting modes of the control object. Finding the combination of spreads on the parameters of the control object that defines the limit mode is generally not a trivial task, if the physical parameters that are set spread a lot, to solve the problem is too time-consuming, and to give expert evaluation is difficult. Therefore, the article discusses an algorithm to find absolute (in this case, conditional) local extremum of the function, which refers to the direct methods, that is directly based on the value of the function. This algorithm is applied to search for an example of a limiting regime of the hydraulic actuator with a number of parameters for which spreads are given. The examples of the parameters include the supply pressure, the equivalent stiffness etc., in this paper a detailed description of the algorithm is given, a functional is chosen for minimization and the graphic results of the limit mode are shown.

Keywords: control system, limit mode, the search algorithm of an function extremum.

References

1. Ignat'ev E.A. *Primenenie matematicheskikh metodov v tekhnike* [The use of mathematical methods in the art]. Kiev: Naukova dumka, 1976.
2. Shvarts L. *Matematicheskie metody dlya fizicheskikh nauk* [Mathematical Methods for the Physical Sciences]. Moscow: Mir, 1965.
3. Attetkov A.V., Galkin S.V., Zarubin V.S. *Metody optimizatsii* [Optimization Techniques], MGTU im. N.E. Bauman, 2003 (Mathematics at the Technical University, Issue XIV).
4. Averchenkov V.I., Fedorov V.P., Kheyfets M.L. *Osnovy matematicheskogo modelirovaniya tekhnicheskikh sistem* [Fundamentals of mathematical modeling of technical systems: a tutorial]. Moscow: Flinta, 2011.
5. Giyon M. *Issledovanie i raschet gidravlicheskikh sistem* [Investigation and calculation of hydraulic systems]. Moscow: Mashinostroyeniye [Mechanical Engineering], 1964.
6. Zaytsev G.F. *Teoriya avtomaticheskogo upravleniya i regulirovaniya* [The theory of automatic control and regulation]. Moscow: Vysshaya shkola [High School], 1989.
7. Voronov A.A. *Osnovy teorii avtomaticheskogo regulirovaniya i upravleniya* [Fundamentals of the theory of automatic regulation and control]. Moscow: Vysshaya shkola [High School], 1977.
8. Andrievskiy B.R., Fradkov A.L. *Izbrannye glavy teorii avtomaticheskogo upravleniya s primerami na yazyke MATLAB* [Topics in the theory of automatic control with examples in MATLAB]. Moscow: Nauka [Science], 2000.
9. Porshnev S.V. *MATLAB 7. Osnovy raboty i programmirovaniya* [MATLAB 7. Fundamentals and Programming. Textbook]. Moscow: Binom. Laboratoriya znaniy, 2006.
10. Iglin S.P. *Matematicheskie raschety na baze Matlab* [Mathematical calculations based on Matlab]. Sankt-Peterburg: BHV-Sankt-Peterburg, 2005.