MAREK SIBIELAK

Sterowanie optymalne w układach mechanicznych

Streszczenie

Dotychczas zastosowanie zaawansowanych metod teorii optymalizacji w praktycznych aplikacjach było ograniczone ich dużą złożonością obliczeniową. Wzrost mocy obliczeniowej procesorów oraz spadek ich cen umożliwił wykorzystanie algorytmów sterujących o dużej złożoności obliczeniowej.

W monografii przedstawiono cztery metody wyznaczania regulatorów. Algorytmy tych regulatorów charakteryzują się dużą złożonością obliczeniową i pamięciową, jednak obecnie możliwe jest ich wykonanie w czasie rzeczywistym. Zastosowanie optymalnych praw sterowania w wielu przypadkach umożliwia poprawę jakości rozwiązań technicznych, bez konieczności modyfikacji konstrukcji mechanicznej czy też stosowania lepszych jakościowo elementów wykonawczych. W monografii przedstawiono opracowane metody syntezy regulatorów optymalnych, ze szczególnym uwzględnieniem ich zastosowań w układach mechanicznych. Istotnym problemem występującym w wielu technicznych aplikacjach są zewnętrzne zakłócenia o charakterze sinusoidalnym. W literaturze można znaleźć propozycje rozwiązania tego problemu bazujące na uwzględnieniu tych zakłóceń w równaniach stanu obiektu. Metody te nie spełniają oczekiwań w przypadku, gdy rozważane składowe sinusoidalne sygnałów zakłócających obejmują szeroki zakres częstotliwości. Wówczas efektywność tych metod maleje dla składowych o wysokich częstotliwościach. Wynika to z faktu, iż macierz wagowa związana z energią sygnału sterującego we wskaźniku jakości nie zależy od częstotliwości.

Pierwsza z metod opracowanych w monografii oparta jest o autorski wskaźnik jakości, w którym macierze wagowe dobiera się indywidualnie dla wybranych częstotliwości sygnału zakłócającego. Przedstawiono metodę wyznaczania rozwiązania zadań optymalizacji dla zaproponowanego wskaźnika jakości oraz przeprowadzono dowód matematyczny jej poprawności. W celu potwierdzenia efektywności opracowanej metody przeprowadzono syntezę regulatora dla aktywnego układu redukcji drgań. Przedstawiono badania symulacyjne i laboratoryjne układu sterowanego wyznaczonym regulatorem.

W wielu rozwiązaniach technicznych ograniczenia na energię sygnałów sterujących nie są istotne. Większe znaczenie ma uwzględnienie ograniczeń na wartości

amplitudy sygnałów sterujących. Dzieje się tak w przypadku, gdy energia wykorzystywana jest tylko do sterowania elementami wykonawczymi. Przykładem takich elementów wykonawczych są sterowane tłumiki. W ich konstrukcji często wykorzystywane są tzw. materiały inteligentne np. stosy piezoelektryczne, ciecze magnetoreologiczne. W monografii przedstawiono dwie metody syntezy regulatora dla nieliniowego zadania optymalizacji ze wskaźnikiem jakości, w którym funkcja kosztów zależy tylko od wektora stanu. Druga metoda dodatkowo uwzględnia dominujące składowe sinusoidalne występujące w sygnale zakłócającym. Metody te zweryfikowano, syntetyzując regulatory optymalne dla semiaktywnego układu redukcji drgań. Jako element wykonawczy zastosowano zaprojektowany i wykonany tłumik hydrauliczny sterowany stosem piezoelektrycznym.

W wielu praktycznych aplikacjach model liniowy jest wystarczający do opisu zachowania obiektu, natomiast nieliniowości występują głównie w elementach wykonawczych. W monografii przedstawiono także metodę wyznaczania sterowania suboptymalnego dla tego typu obiektów. W metodzie uwzględnione zostały również: ograniczenia na sygnały sterujące oraz własności histerezowe elementu wykonawczego. Metodę zweryfikowano, wyznaczając regulator dla semiaktywnego układu redukcji drgań. Jako element wykonawczy zastosowano tłumik magnetoreologiczny.

MAREK SIBIELAK

Optimal control of mechanical systems

Summary

So far the use of advanced methods of optimisation theory in practical applications was limited by their significant computing complexity. Higher computing capacity of processors and their lower prices make it possible to use the steering algorithms with high computing complexity.

This paper presents four methods to determine regulators. The algorithms of these regulators are characterised by high computing and memory complexity, however it is possible nowadays to execute them in real time.

The use of optimum steering laws makes it possible in many cases to improve the quality of technical solutions without a need to modify the mechanical construction or to resort to elements of better execution quality. This monograph presents analysed methods of optimum regulator synthesis, with particular consideration to their application in mechanical systems. An important problem occurring in many technical applications are the external sinusoidal disturbances. Publications on this topic offer proposals to solve this problem based on taking into consideration such disturbances in equations of the object's state. These methods, however, do not meet the expectations if the analysed sinusoidal component have a wide frequency scope. In such a situation the efficiency of these methods is reduced for high frequency components. This results from the fact that the weight matrix related to the energy of the steering signal in the quality ratio does not depend on the frequency.

The first of methods discussed in this paper is based on the author's own quality ratio in which the weight matrixes are selected individually for the selected frequencies of the impedance signal. A method has been presented to determine optimisation solutions for the proposed quality ratio and a mathematical proof of its correctness has been made. In order to confirm the efficiency of the presented method, the synthesis of a regulator has been made for an active vibration reduction system. Simulation and laboratory research has been presented for this set steered by the proposed regulator.

In many technical solutions the limitations of steering signal energy are not important. It is more important to take into consideration the limitations of the value of steering signals. This is the case when the energy is used solely for the steering of actuators elements. An example of such executive elements are steered dampers.

Their construction often takes advantage of the so-called ‘smart materials’, for example piezoelectric stack, magnetoreological liquids. This paper presents two methods of synthesis of the regulator for a non-linear optimisation task, with a quality indicator in which the cost function depends only on the state vector. The second method takes additionally into consideration the dominant sinusoidal components occurring in the interfering signal. These methods have been verified by synthesising optimum regulators for the semi-active vibration reduction set. The executive element used has been designed and made to be a hydraulic damper steered with a piezo-electric pile.

In many practical applications the linear model is sufficient to describe the object’s behaviour, yet non-linearity are to be found mainly in execution elements. This paper presents also a method to determine a sub-optimum steering for this kind of objects. The method takes into consideration also limitations concerning steering signals and the hysteresis properties of the actuators element. This method has been verified by determining a regulator for the semi-active system of vibration reduc-tion. The executive element used is a magnetoreological damper.