

Sterowanie SMC serwonapędem z ograniczeniem na zmienne stanu

paź 30, 2025

Wstęp

Sterowanie ślizgowe, lub sterowanie reżimem ślizgowym (ang. Sliding Mode Control, w skrócie SMC) jest typem sterowania o zmiennej strukturze.

Pierwsze prace dotyczące sliding mode control datują się na lata 70 [12]. Od tego czasu zagadnienie sterowania ślizgowego było tematyką wielu artykułów oraz książek zob. np. [13]. W trakcie pracy takiego układu, w zależności od tego w jakim miejscu przestrzeni stanu znajduje się system, wybierana jest odpowiednia struktura sterująca. Sterowanie ślizgowe może być stosowane do bardzo szerokiej klasy układów dynamicznych takich jak układy liniowe, nieliniowe, układy o niepewnych parametrach.

Odpowiednio projektując płaszczyzny ślizgowe można zapewnić oprócz osiągnięcia zadanego celu sterowania, także inne dodatkowe warunki np. ograniczenie na amplitudę sygnału sterowania lub zmiennych stanu. W pracy przedstawiono projekt układu sterowania SMC serwowym mechanizmem prądu stałego w którym można ograniczyć amplitudę sygnału sterowania $u(t)$ oraz prędkość obrotową $\omega(t)$ do zadanych wartości.

[Read more](#)

Sterowanie ślizgowe

Rozważmy liniowy system dynamiczny opisany układem równań różniczkowych:

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) \quad (1)$$

$$y(t) = Cx(t) \quad (2)$$

O systemie zakładamy, że jest sterowalny [8, s. 69]. Bez straty ogólności możemy przyjąć, że zadanie sterowania polega na stabilizacji systemu dynamicznego w punkcie $x = [0 \ 0]^T$.

Projektując układ sterowania SMC należy odpowiednio zdefiniować płaszczyznę ślizgową. Płaszczyzna ślizgowa (lub bardziej ogólnie hiperpłaszczyzna) jest zbiorem punktów przestrzeni stanów układu dla których zachodzi:

$$S = \{x: \sigma(x) = 0\} \quad (3)$$

Układ sterowania SMC powinien najpierw sprowadzić układ na powierzchnię płaszczyzny ślizgowej ($\sigma = 0$) a następnie "utrzymać" go na tej powierzchni aż do osiągnięcia zadanego celu sterowania (wtedy $\sigma = 0$).

Warunkiem osiągalności płaszczyzny ślizgowej a w konsekwencji istnienia sterowania SMC jest spełnienie zależności [9, s. 32]:

$$\sigma^T \sigma < 0 \quad (4)$$

W przypadku kiedy sterowanie $u(t)$ jest funkcją skalarną z warunku tego otrzymujemy:

- dla $\sigma > 0$ sterowanie $u(t)$ powinno zapewnić $\dot{\sigma} < 0$
- dla $\sigma < 0$ sterowanie $u(t)$ powinno zapewnić $\dot{\sigma} > 0$.

Sterowanie $u(t)$ ma wpływ na wartość i znak $\dot{\sigma}$ ponieważ: $\sigma = d\sigma \quad dt = \partial \sigma$

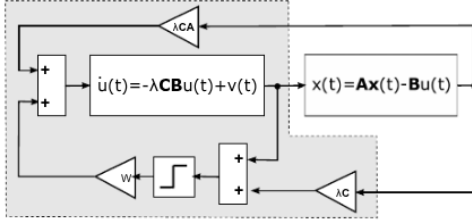
$$\partial x$$

$$x(t) = \partial \sigma$$

$$\partial x(Ax(t) + Bu(t)) \quad (5)$$

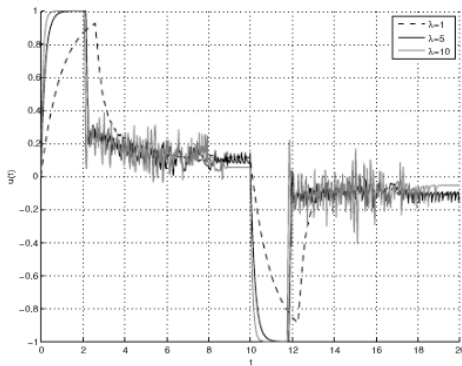
Jednym z niepożądanych efektów stosowania sterowania SMC jest możliwość wystąpienia przełączeń sygnału sterowania $u(t)$ o bardzo dużej częstotliwości w bliskiej okolicy płaszczyzny przełączania σ , tak

zwane zjawisko chatteringu. Zjawisko to jest bardzo szkodliwe w praktycznych układach sterowania i dlatego dąży się do jego wyeliminowania, zob. np. [2], [3], [14], [11]



SMC bez ograniczeń na zmienne stany

Zadanie sterowania polega na obrocie wału serwomechanizmu o zadany kąt α_{REF} i zatrzymaniu się w tej pozycji. Sygnał sterowania $u(t)$ jest ograniczony do wartości z przedziału $[-1, 1]$. Zadanie to może zostać przeformułowane do zdania stabilizacji układu w punkcie przestrzeni stanów $x = [0 \ 0]$. Dlatego można przyjąć $C = [1 \ 1]$.



Przykład

Na wykresach zamieszczonych na rysunku (2) dla większych wartości parametru λ można zaobserwować wystąpienie dużej ilości przełączeń sygnału sterowania $u(t)$. Jedną z przyczyn występowania tego zjawiska jest **występowanie w układzie rzeczywistym serwomechanizmu opóźnień, niedokładność modelu dynamicznego** oraz zastosowanie funkcji sgn która jest funkcją nieciągłą w punkcie 0 [9, s. 31], [13, s. 328-329].

6. Wnioski

W artykule zawarto opis układu sterowania znanego w literaturze pod nazwą sliding mode control. Przedstawiono krótką charakterystykę tego typu układów sterowania, wskazano na problemy występujące w tego typu układach (zjawisko chattering-) a także opisano jeden ze sposobów wyeliminowania tego typu zjawisk poprzez modyfikację funkcji przełączającej zob. wzór (6). Zaproponowano modyfikację układu sterowania która umożliwia wprowadzenie ograniczeń na zmienne stanu układu (18), (20).