

POLITECHNIKA WROCLAWSKA  
INSTYTUT MASZYN, NAPĘDÓW I POMIARÓW ELEKTRYCZNYCH  
ZAKŁAD NAPĘDU ELEKTRYCZNEGO, MECHATRONIKI I AUTOMATYKI PRZEMYSŁOWEJ

Laboratorium

**Sterowanie napędami elektrycznymi – zagadnienia wybrane**

Ćwiczenie

Badanie struktur nieliniowego sterowania układami napędowymi z uwzględnieniem tarcia i luzu

Opracował:

dr inż. Marcin Kamiński

Wrocław 2013

### 1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest:

- zapoznanie się z problematyką dotyczącą sterowania układów napędowych, w których występuje luz połączenia silnika napędowego z maszyną roboczą, ponadto analizowany jest wpływ nieliniowości związanych z momentem tarcia.
- poznanie metod kompensacji wpływu nieliniowości

### 2. Zakres ćwiczenia

- Sprawdzenie stanu wiedzy studentów.
- Wykonanie modelu układu napędowego zawierającego elementy nieliniowe reprezentujące tarcie oraz luz połączenia.
- Testy klasycznych struktur sterowania zastosowanych dla obiektu nieliniowego.
- Poznanie sposobów przeciwdziałania zakłóceniom wynikającym z nieliniowości napędu, wpływających na rezultaty sterowania prędkością.
- Modelowanie układów regulacji umożliwiających precyzyjne sterowanie obiektem nieliniowym:
  - > z dodatkowymi sprzężeniami zwrotnymi, umożliwiającymi kompensację luzu połączenia,
  - > struktur sterowania odporne.
- Testy modelowanych struktur sterowania:
  - > dla zmian wartości parametrów determinujących dynamikę układu regulacji (pulsacji rezonansowej oraz współczynnika tłumienia),
  - > w obecności zmian parametrów obiektu.

### 3. Wstęp teoretyczny

W celu zwiększenia precyzji modelu układu napędowego opisującego rzeczywiste zjawiska, w wielu przypadkach wprowadzane są nieliniowe elementy reprezentujące luz połączenia lub moment tarcia silnika. W takim przypadku w układzie równań opisujących część mechaniczną napędu należy uwzględnić:

- powszechnie stosowany model matematyczny luzu, wyrażony zależnością:

$$N(x) = \begin{cases} x - \varepsilon & \text{dla } x > \varepsilon \\ 0 & \text{dla } |x| < \varepsilon \\ x + \varepsilon & \text{dla } x < -\varepsilon \end{cases}, \quad (1)$$

$$x = \int \omega_1 dt - \int \omega_2 dt, \quad (2)$$

przy czym  $\varepsilon$  oznacza szerokość strefy martwej, natomiast  $\omega_1$  – prędkość silnika,  $\omega_2$  – prędkość maszyny roboczej,

➤ elementy nieliniowe związane z momentem tarcia silnika, które można wyrazić wzorem:

$$m_f = \frac{\omega}{\frac{\delta}{4\lambda^2}\omega^2 + \frac{1}{d}} + \kappa \left[ \frac{2}{\pi} \arctan(\gamma\omega) \right]^3, \quad (3)$$

gdzie:  $\delta, \lambda, \kappa, \gamma$  - są współczynnikami kształtującymi charakterystykę momentu tarcia.

W wielu przypadkach analiza napędów elektrycznych zawierających nieliniowości jest realizowana dla napędu z połączeniem sprężystym, opisanym poniższym układem równań:

$$\begin{aligned} T_1 \frac{d\omega_1(t)}{dt} &= m_e(t) - m_s(t) \\ T_2 \frac{d\omega_2(t)}{dt} &= m_s(t) - m_L(t), \\ T_c \frac{dm_s(t)}{dt} &= \omega_1(t) - \omega_2(t) \end{aligned} \quad (4-6)$$

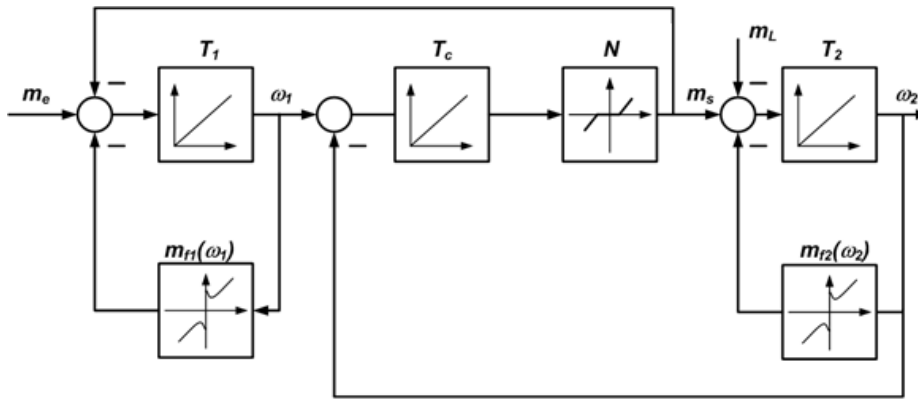
gdzie:  $\omega_1$  – prędkość silnika,  $\omega_2$  – prędkość maszyny roboczej,  $m_s$  – moment skrętny,  $m_L$  – moment obciążenia,  $T_1$  – mechaniczna stała czasowa silnika,  $T_2$  – mechaniczna stała czasowa obciążenia,  $T_c$  – stała czasowa elementu sprężystego.

Po uwzględnieniu nieliniowości (1-3) układ równań (4-6) przyjmuje następującą postać:

$$\begin{aligned} T_1 \frac{d\omega_1(t)}{dt} &= m_e(t) - m_s(t) - m_{f1}(t) \\ T_2 \frac{d\omega_2(t)}{dt} &= m_s(t) - m_L(t) - m_{f2}(t) \\ T_c \frac{dm_s(t)}{dt} &= N(\omega_1(t) - \omega_2(t)) \end{aligned}, \quad (7-9)$$

gdzie:  $m_{f1}$  - moment tarcia silnika,  $m_{f2}$  - moment tarcia silnika obciążającego,  $N$  - funkcja opisująca zjawisko luzu.

Schemat blokowy układu dwumasowego z połączeniem elastycznym odpowiadający równaniom (7-9) został przedstawiony na rysunku 1.



**Rys. 1.** Schemat blokowy nieliniowego układu dwumasowego

W modelu układu dwumasowego efektem luzu jest różnica położenia wału silnika oraz obciążenia. W strukturze przedstawionej na rysunku 1 nie występuje dodatkowe całkowanie prędkości, założono że różnica całek jest całką różnicy przebiegów, zatem model luzu jest wprowadzony po całkowaniu związanym z elementem sprężystym, natomiast stała całkowania jest wyprowadzana po funkcji  $N$  (aby nie stanowiła dodatkowego skalowania wielkości luzu połączenia).

W ćwiczeniu należy zamodelować nieliniowy obiekt, a następnie przeprowadzić analizę wpływu zakłóceń na przebiegi zmiennych stanu w strukturze sterowania z regulatorem stanu. Ponadto należy przeprowadzić próbę zredukowania wpływu nieliniowości zgodnie ze wskazówkami prowadzącego.

### Literatura

- materiały z wykładu Podstawy Automatyki
- materiały z wykładu Sterowanie napędami elektrycznymi – zagadnienia wybrane
- Bielawski S., Teoria napędu elektrycznego, WNT, 1978
- Szabat K., Struktury sterowania elektrycznych układów napędowych z połączeniem sprężystym, Prace Naukowe Instytutu Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektrycznych Politechniki Wrocławskiej, Nr. 61, Seria: Monografie Nr. 19, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2008.
- Ogata K., Modern Control Engineering 4-th edition, Prentice Hall, 2002.
- Franklin G. F., Powell J. D., Emami-Naeini A., Feedback Control of Dynamic Systems, 4-th edition, Prentice Hall, 2002.