

## Michał BARTYŚ

POLITECHNIKA WARSZAWSKA  
INSTYTUT AUTOMATYKI I ROBOTYKI

# Algorytmy synchronizacji obciążeń na stanowisku do badań trybologicznych endoprotez stawu biodrowego

Dr inż. Michał BARTYŚ

Jest pracownikiem naukowo-dydaktycznym w Instytucie Automatyki Przemysłowej Politechniki Warszawskiej. Autor zajmuje się zawodowo zagadnieniami związanymi z konstrukcją inteligentnych przetworników i elementów wykonawczych automatyki, układami sterowania cyfrowego, sieciami komputerowymi automatyki, zastosowaniami logiki rozmytej w automatyce.



### Streszczenie

W artykule przedstawiono problem synchronizacji obciążeń w wielosekcyjnym stanowisku do badań właściwości trybologicznych endoprotez stawu biodrowego. Podano trzy zweryfikowane eksperymentalnie algorytmy synchronizacji oraz omówiono ich właściwości.

### Abstract

In the paper the experimentally verified algorithms for bi-directional hip-joint prostheses loading synchronisation are presented. The algorithms are designed particularly for implementing in control unit of multi-sectional laboratory set-up for hip-joint wear and fatigue tests. The discussion of presented algorithms was given.

## 1. Wprowadzenie

Rozwój technologii materiałów, w tym szczególnie bardzo trwałych powłok odpornych na ścieranie, przyczynił się do rozwoju nowych konstrukcji endoprotez stawu biodrowego. Od endoprotez, poza oczywistym wymaganiami spełnienia funkcji wynikających z mechaniki ruchu oraz obojętności wobec systemu immunologicznego człowieka, wymaga się ponadto:

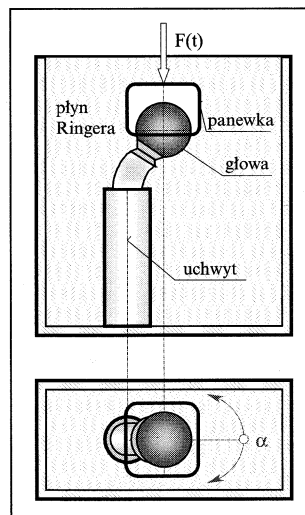
- wysokiej wytrzymałości mechanicznej
- wysokiej wytrzymałości zmęczeniowej
- wysokiej odporności na zużycie
- niskiej emisji produktów zużycia

W warunkach laboratoryjnych wykonywane są dwa zasadnicze rodzaje badań właściwości mechanicznych i trybologicznych endoprotez:

- badania wytrzymałości zmęczeniowej [1], [2], [4]
- badania zużyciowo-trwałościowe [4]

W badaniach wytrzymałości zmęczeniowej endoproteza poddawana jest działaniu siły okresowo zmiennej skierowanej równoległe do jej osi głównej (rys. 1). Siła obciążająca, zależnie od rodzaju i celu badań, ma kształt sinusoidalny lub kształt imitujący obciążenie rzeczywiste stawu biodrowego (rys. 2). Wytrzymałość zmęczeniowa mierzona jest liczbą cykli obciążeń o określonej amplitudzie, i kształcie przeniesionych przez endoprotezę aż do momentu jej zniszczenia. Dla współczesnych konstrukcji endoprotez liczba cykli waha się w granicach  $10^7 - 10^8$  cykli.

W badaniach zużyciowo-trwałościowych istotne jest określenie ilości, formy i składu chemicznego produktów zużycia pary kinematycznej głowa -panewka endoprotezy. Badaniom podlega również rodzaj i wielkość zużycia współpracujących elementów endoprotezy. W badaniach zużyciowo-trwałościowych imitowane są obciążenia zbliżone kształtem, wielkością i częstotliwością do rzeczywistych. W odróżnieniu od badań trwałości zmęczeniowej, endoproteza poddawana jest bardziej złożonemu stanowi obciążeń.



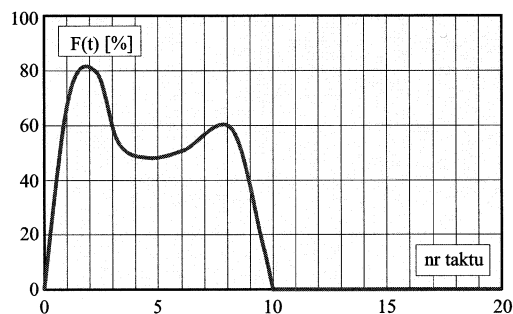
Rys. 1. Schemat obciążenia endoprotezy stawu biodrowego w badaniach zużyciowo-trwałościowych.

W trakcie obciążeń siłą pionową (podobnie jak w badaniach wytrzymałości zmęczeniowej) proteza wykonuje dodatkowo ruchy posuwisto-zwrotne w płaszczyźnie prostopadłej do kierunku osi głównej endoprotezy. Ruchy te muszą być w odpowiedni sposób zsynchronizowane z przebiegiem siły obciążenia pionowego. Ze względu na długotrwałość cyklu badań (ok. 4-6 miesięcy ciągłej pracy stanowiska), dla szybszego zebrania wiarygodnego statystycznie materiału badawczego budowane są specjalne stanowiska wielosekcyjne pozwalające na jednoczesne badania wielu protez [4]. Układ sterowania stanowiskiem powinien w takim przypadku nie tylko zapewnić synchronizację w obrębie jednej sekcji, ale także synchronizację wzajemną wszystkich sekcji.

Ze względu na wykorzystywanie napędów elektrohydraulicznych w stanowiskach badawczych pojawiają się dodatkowe problemy związane z zapewnieniem odpowiedniej synchronizacji obciążeń z uwagi na wzajemne interakcje sekcji

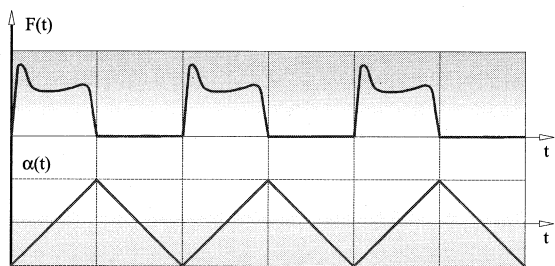
## 2. Sformułowanie problemu

Obciążenie w kierunku osi głównej endoprotezy (obciążenie pionowe) w próbie trwałościowo-zmęczeniowej ma bardzo charakterystyczny kształt „garbu wielbłąda” (rys. 2). Kształt tego przebie-



Rys. 2. Typowy przebieg cyklu obciążenia endoprotezy stawu biodrowego w badaniach zużyciowo-trwałościowych.

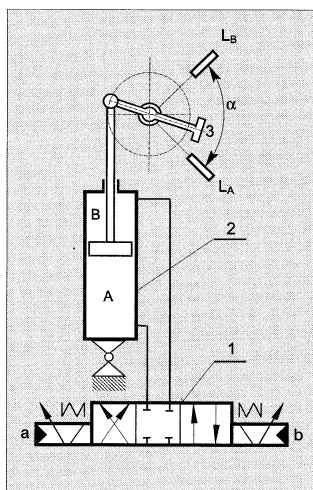
gu odzwierciedla typowy przebieg obciążeń w kierunku pionowym występujący w stawie biodrowym piechura. Okres jednego cyklu obciążenia wynosi ok. 1s. Przez połowę cyklu siła obciążająca staw ma wartość zbliżoną do zera co wynika z faktu przeniesienia ciężaru ciała na drugą nogę.



Rys. 3. Idealizowany schemat synchronizacji czasowej przebiegu obciążenia endoprotezy w kierunku pionowym  $F(t)$  oraz przemieszczeń kątowych endoprotezy w płaszczyźnie poziomej.

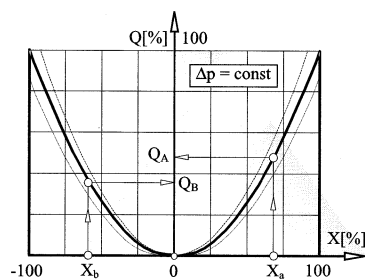
Ruchy posuwisto-zwrotne protezy względem nieruchomej panewki w płaszczyźnie prostopadłej do siły pionowej powinny być zsynchronizowane w taki sposób, aby przez pierwszą połowę cyklu obciążenia ruch protezy odbywał się w jednym kierunku o zadany kąt  $\alpha$ , zaś w drugiej połowie cyklu, to znaczy w momencie odciążenia endoprotezy, w kierunku przeciwnym (rys. 3). Problem synchronizacji dotyczy oczywiście wszystkich pracujących sekcji stanowiska. W [4] opisano stanowisko trzysekcyjne, w którym wszystkie napędy elektrohydrauliczne realizujące przemieszczenia w płaszczyźnie poziomej zasilane są z jednej wspólnej pompy i wspólnej linii zasilającej. Nieuniknione są w tym przypadku wzajemne interakcje sekcji wynikające ze zmiennej rezystancji hydraulicznej, dynamiki przepływów czy ograniczonej wydajności strumienia objętościowego pompy. Dodatkowo zmiany warunków pracy (zmiany temperatury i lepkości oleju, wyłączenie pewnych sekcji z eksploatacji) wywołują konieczność zastosowania odpowiednio skutecznych algorytmów sterowania zapewniających realizację synchronizację obciążeń endoprotez.

Na rys. 4. Przedstawiono schemat kinematyczny napędu posuwisto-zwrotnego jednej z sekcji stanowiska do badań zużyciowo-trwałościowych endoprotez. Kotwica (3) wykonuje ruchy wahadłowe w zakresie kąta  $\alpha$  wyznaczonych przez zbliżeniowe, indukcyjne wyłączniki krańcowe  $L_A$  i  $L_B$ . Ruchy wahadłowe kotwicy (3) wywołwane są posuwisto-zwrotnymi przemieszczeniami tłoczyska siłownika hydraulicznego (2). Napływ i wypływ oleju do i z komór A i B siłownika (2) kontrolowany jest przez odpowiednie wysteroowanie elektromagnesów rozdzielacza elektro-hydraulicznego o działaniu proporcjonalnym (1) przez programowalny regulator [3]. Wzbudzenie elektromagnesu oznaczonego symbolem a wywo-



Rys. 4. Schemat ideowy elektrohydraulicznego układu napędu posuwisto-zwrotnego jednej sekcji stanowiska do badań zużyciowo-trwałościowych endoprotez. Oznaczenia: 1 – rozdzielacz elektro-hydrauliczny o działaniu proporcjonalnym, 2 – siłownik dwustronnego działania, 3 – kotwica,  $L_A$ ,  $L_B$  – zbliżeniowe czujniki indukcyjne

łuje napełnianie komory A siłownika, jednocześnie opróżnianie komory B i ruch tłoczyska w takim kierunku, że kotwica (3) zmierza w stronę przetwornika indukcyjnego  $L_A$ . Wysteroowanie elektromagnesu  $b$  wywołuje ruch ramienia kotwicy w kierunku przeciwnym. Prędkość kątową ruchu kotwicy jest funkcją przełożenia kinematycznego, wielkości strumienia cieczy roboczej napływającego do komory czynnej siłownika, spadku ciśnienia na krawędziach okien przepływowych rozdzielacza, temperatury i lepkości oleju oraz charakterystyki przepływowej rozdzielacza. Na rys. 5 przedstawiono typową charakterystykę przepływową rozdzielacza elektrohydraulicznego o działaniu proporcjonalnym. Liniami przerywanymi zaznaczono obszar dopuszczalnych zmian charakterystyki przepływowej. Wobec tak wielkiej liczby czynników wpływających, zadanie sterowania prędkością ruchu mechanizmu ruchu wahadłowego ma zasadnicze znaczenie dla zapewnienia właściwej synchronizacji obciążeń endoprotez.



Rys. 5. Znormalizowany wykres strumienia objętościowego  $Q$  rozdzielacza elektrohydraulicznego o działaniu proporcjonalnym w funkcji znormalizowanego prądowego sygnału sterującego przy stałym spadku ciśnienia na zaworze

Zadanie to jest dodatkowo o tyle utrudnione, że:

- nie jest dostępny ciągły pomiar przemieszczenia kątowego ruchu wahadłowego
- wartość zadana prędkości kątowej jest zmienna i jest sprzężona z częstotliwością cykli obciążeń siłą pionową
- strumień dysponowany oleju jest funkcją liczby jednocześnie włączonych sekcji stanowiska i chwilowych chłonności sekcji.

### 3. Algorytmy synchronizacji

Zadanie synchronizacji można sformułować następująco:

Dla każdej  $i$ -tej sekcji stanowiska do badań zużyciowo-trwałościowych endoprotez stawu biodrowego znaleźć taką parę sterowań  $\{x_{ai}, x_{bi}\}$  aby dla każdego przedziału czasowego  $T$  spełniona była następująca zależność:

$$\int_0^{T/2} k_a(t, \theta) x_{ai}(t) dt = k_b \int_{T/2}^T k_b(t, \theta) x_{bi}(t) dt \quad (1)$$

gdzie:

$k_a, k_b$  – parametry konstrukcyjne

$T$  – okres cyklu obciążenia siłą pionową

$\theta$  – temperatura

W stanowisku [4] nie przewidziano żadnego mechanicznego układu umożliwiającego synchronizację ruchów endoprotezy w kierunkach wzajemnie prostopadłych. Zadanie synchronizacji spoczywa zatem całkowicie na jednostce sterującej [2].

W chwili rozruchu stanowiska w ogólnym przypadku nieznanne jest zarówno położenie początkowe  $\alpha_0$ , kotwic (3) mechanizmów obrotowych, wartości sterowań  $\{x_{ai}, x_{bi}\}$ , oraz zakres rzeczywiście ustawionych przemieszczeń kątowych  $\alpha_i$ .

#### 3.1 Algorytm kompensacji równomiernej

W algorytmie tym występuje faza przygotowawcza (kroki: 1 i 2) oraz powtarzana rekursywnie faza kompensacyjna (krok 3). Algo-

rytm kompensacji równomiernej charakteryzuje się tym, że w każdej następnej dyskretniej chwili czasowej następuje korekcja wartości aktualnego sterowania o wartość równą stałemu krokowi algorytmu. Korekcja może być dokonywana ze znakiem dodatnim lub ujemnym zależnie od wartości pewnych dodatkowych zdań logicznych wywodzonych z binarnych stanów przełączników krańcowych  $L_A$  i  $L_B$ .

Algorytm kompensacji równomiernej jest następujący:

- 1° wartościom sterowań  $\{x_{ai}, x_{bi}\}$  w chwili  $t_0$  przyporządkowane zostają arbitralnie pewne wartości początkowe np:  $\{x_{ai}=50\%, x_{bi}=50\%\}$ .
- 2° zostają ustalone wartości stałych kroków kompensacyjnych  $\{\Delta x_{ai}, \Delta x_{bi}\}$  dla każdej sekcji stanowiska np:  $\{\Delta x_{ai}=0,1\%, \Delta x_{bi}=0,1\%\}$ .
- 3° w każdej dyskretniej chwili czasu wyznaczonej przez cykl sterowania siłą pionową zostają wyznaczone nowe, skorygowane wartości sterowań:

$$\begin{cases} x_{ai}(n+1) = x_{ai}(n) + \Delta x_{ai} & \text{jesli } L_A = 0 \\ x_{ai}(n+1) = x_{ai}(n) - \Delta x_{ai} & \text{jesli } L_A = 1 \\ x_{bi}(n+1) = x_{bi}(n) + \Delta x_{bi} & \text{jesli } L_B = 0 \\ x_{bi}(n+1) = x_{bi}(n) - \Delta x_{bi} & \text{jesli } L_B = 1 \end{cases} \quad (2)$$

z warunkami:

$$\begin{cases} 0 \leq x_{ai} \leq 100\% \\ 0 \leq x_{bi} \leq 100\% \end{cases} \quad (3)$$

Wartości sterowań  $\{x_{ai}(n+1), x_{bi}(n+1)\}$  wyznaczone w każdej chwili  $t_{n+1}$  są pamiętane w pamięci nieulotnej sterownika. Dzięki temu możliwe jest ich szybkie odtworzenie w przypadku zaniku lub wyłączenia napięcia zasilania.

Algorytm kompensacji równomiernej jest prosty w realizacji. Zasadniczą wadą tego algorytmu jest fakt, że jest algorytmem wolno zbieżnym. W skrajnym przypadku przy założeniu cyklu o okresie 1s i wartościach początkowych sterowań na poziomie 50% i kroków kompensacyjnych na poziomie 0,1%, proces adaptacji trwa do 500s. Tak długi okres adaptacji jest trudny do zaakceptowania w praktyce i z tego punktu widzenia algorytm ten nie został ostatecznie zaimplementowany w sterowniku [2].

### 3.2 Algorytm kompensacji wagowej

W algorytmie tym, podobnie jak w algorytmie z kompensacją równomierną występuje faza przygotowawcza (kroki: 1, 2 i 3) oraz powtarzana rekursywnie faza kompensacyjna (kroki: 4 i 5). Algorytm kompensacji wagowej charakteryzuje się tym, że w każdej następnej dyskretniej chwili czasowej następuje korekcja wartości aktualnego sterowania o wartość zmiennego kroku algorytmu. Wartość tego kroku jest równa połowie wartości ostatnio realizowanego kroku algorytmu lecz nie mniejsza od pewnej minimalnej wielkości granicznej. Po osiągnięciu minimalnej wartości kroku, algorytm kompensacji wagowej staje się równoważny algorytmowi kompensacji równomiernej.

Algorytm kompensacji wagowej jest następujący:

- 1° wartościom sterowań  $\{x_{ai}, x_{bi}\}$  w chwili  $t_0$  przyporządkowane zostają arbitralnie pewne wartości początkowe np:  $\{x_{ai}=50\%, x_{bi}=50\%\}$ .
- 2° zostają ustalone wartości początkowe zmiennych kroków kompensacyjnych  $\{\Delta x_{ai}, \Delta x_{bi}\}$  dla każdej sekcji stanowiska, np:  $\{\Delta x_{ai}=50\%, \Delta x_{bi}=50\%\}$
- 3° zostają ustalone wartości kroku minimalnego  $\{\delta x_{ai}, \delta x_{bi}\}$  dla każdej sekcji stanowiska, np:  $\{\delta x_{ai}=0,1\%, \delta x_{bi}=0,1\%\}$
- 4° w każdej dyskretniej chwili czasu  $t(n+1)$  wyznaczonej przez cykl sterowania siłą pionową zostają wyznaczone nowe, skorygowane wartości zmiennego kroku kompensacji:

$$\begin{cases} \Delta x_{ai}(n+1) = \text{sign}(L_A - 0,5) \Delta x_{ai}(n) / 2 \\ \Delta x_{bi}(n+1) = \text{sign}(L_B - 0,5) \Delta x_{bi}(n) / 2 \end{cases} \quad (4)$$

gdzie:

$$\text{sign}(x) = \begin{cases} 1 & \text{dla } x > 0 \\ 0 & \text{dla } x = 0 \\ -1 & \text{dla } x < 0 \end{cases} \quad (5)$$

z ograniczeniem:

$$\begin{cases} \text{jesli } \Delta x_{ai}(n+1) < \delta_{ai} \text{ to } \Delta x_{ai}(n+1) = \delta_{ai} \\ \text{jesli } \Delta x_{bi}(n+1) < \delta_{bi} \text{ to } \Delta x_{bi}(n+1) = \delta_{bi} \end{cases} \quad (6)$$

- 5° w każdej dyskretniej chwili czasu  $t(n+1)$  wyznaczonej przez cykl sterowania siłą pionową zostają wyznaczone nowe, skorygowane wartości sterowań:

$$\begin{cases} x_{ai}(n+1) = x_{ai}(n) + \Delta x_{ai} \\ x_{bi}(n+1) = x_{bi}(n) + \Delta x_{bi} \end{cases} \quad (7)$$

z warunkami:

$$\begin{cases} 0 \leq x_{ai} \leq 100\% \\ 0 \leq x_{bi} \leq 100\% \end{cases} \quad (8)$$

Ze względu na zmienny krok kompensacyjny, algorytm kompensacji wagowej jest szybciej zbieżny w stosunku do algorytmu kompensacji równomiernej. Miarą szybkości zbieżności algorytmów może być liczba kroków algorytmu konieczna do osiągnięcia wartości ekstremalnej sterowania przy zadanych warunkach początkowych. Przybliżony stosunek liczby tak zdefiniowanych kroków dla opisanych wyżej algorytmów z kompensacją równomierną i wagową wynosi:

$$\omega \equiv \frac{\left( \frac{1 - \Delta x_{i0}}{\delta x_i} \right)}{1 + E \left( \log_2 \frac{1 - \Delta x_{i0}}{\delta x_i} \right)} \quad (9)$$

gdzie:

$\Delta x_{i0}$  – wartość względna sterowania w chwili  $t_0$

$\delta x_i$  – wartość względna kroku minimalnego

$E$  – funkcja entier

Algorytm kompensacji wagowej jest, podobnie jak algorytm kompensacji równomiernej, bardzo prosty w realizacji. Istotną przewagą tego algorytmu jest wysoka wartość współczynnika  $\omega$ . Dla przykładu jeśli przyjmujemy wartości  $\Delta x_{ai0}=50\%$  i  $\delta x_{ai}=0,1\%$  to algorytm kompensacyjny (7) jest w przybliżeniu aż 50-krotnie szybszy w stosunku do algorytmu (2). O ile maksymalny okres adaptacji algorytmu (2) w podanym wyżej przykładzie wynosi 500s, o tyle dla algorytmu kompensacji wagowej wynosi już tylko 10s.

Charakterystyczną cechą tego algorytmu jest fakt, że właściwości szybkiej zbieżności algorytmu (krótkiego czasu osiągnięcia synchronizacji) ujawniają się wyłącznie w momencie wystartowania algorytmu przy zadanych warunkach początkowych. Po osiągnięciu wartości minimalnej kroku kompensacyjnego algorytm ten staje się algorytmem równoważnym algorytmowi z kompensacją równomierną. W tym przypadku algorytm jest wystarczająco skuteczny dla kompensacji zakłóceń wolnozmiennych takich jak zmiany temperatury, lepkości oleju, wielkości okien przepływowych rozdzielacza, rezystancji cewek rozdzielacza i t. p. Ze względu na korzystne właściwości użytkowe algorytm ten został ostatecznie zaimplementowany w układzie sterowania [2] stanowiska badawczego [4].

### 3.3 Algorytm mieszany

Jak łatwo zauważyć (rys. 6) oprócz sygnałów binarnych pochodzących z krańcowych czujników indukcyjnych  $L_A$  i  $L_B$  możliwe jest wykorzystanie w konstrukcji algorytmów synchronizacji dodatkowej informacji czasowej. Przypadek ten ma miejsce gdy prędkość kątowa w ruchu wahadłowym jest zbyt duża. Wówczas pozycja skrajna kotwicy zostanie osiągnięta za wcześnie. W takim przypadku układ sterowania uruchamia nadrzędną procedurę hamowania nie dopuszczającą do powstania nadmiernego przestrzału. Ruch zostaje zatrzymany aż do chwili pojawienia się następnego impulsu synchronizującego. Zatem stosunek czasu oczekiwania  $t_0$  do okresu cyklu  $T$  może być pewną miarą stopnia rozbieżności pomiędzy sterowaniem aktualnym, a pożądanym. Obserwacja ta jest podstawą konstrukcji mieszanego algorytmu synchronizacji kompensacyjno-czasowego. Algorytm ten jest tożsamy z algorytmem kompensacji wagowej jeśli aktualna prędkość kątowa w ruchu wahadłowym jest na tyle mała, że zachodzi warunek (10)

$$t_0 = 0 \cap L = 0 \quad (10)$$

Jeśli natomiast zachodzi:

$$t_0 \geq 0 \cap L = 1 \quad (11)$$

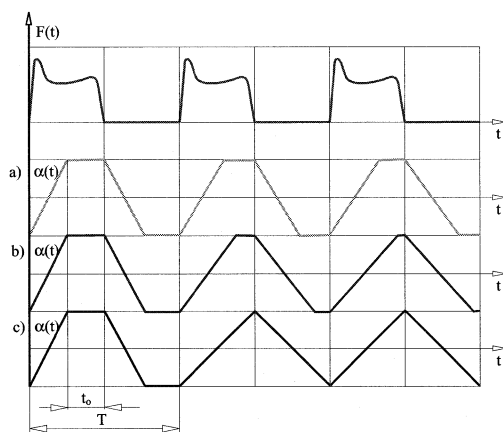
to możliwe jest zastosowanie pewnej modyfikacji algorytmu kompensacji wagowej (7) w części dotyczącej wyznaczenia zmiennego kroku algorytmu. Zamiast równań (4) możliwe jest wprowadzenie równań (12) z warunkami (6).

$$\begin{cases} \Delta x_{ai}(n+1) = -K_{ai} \cdot t_{0ai}(n) / T \\ \Delta x_{bi}(n+1) = -K_{bi} \cdot t_{0bi}(n) / T \end{cases} \quad (12)$$

gdzie:

$K_{ai}$ ,  $K_{bi}$  – dodatnie współczynniki wzmocnienia

W istocie gdyby zatem charakterystyki przepływowo rozdzielaczy elektrohydraulicznych o działaniu proporcjonalnym były liniowe, to w przypadku spełnienia założenia (11) i odpowiedniego dobrania współczynników wzmocnień  $K_{ai}$ ,  $K_{bi}$  możliwe jest osiągnięcie stanu synchronizacji nawet w dwóch cyklach adaptacji. Założenie (11) jest proste do spełnienia w chwili startu realizacji algorytmu. Wystarczy bowiem przyporządkować wartościom sterowań  $\{x_{ai}, x_{bi}\}$  wartości maksymalne.



Rys. 6. Ilustracja procesu synchronizacji obciążeń endoprotezy w kierunku pionowym i przemieszczeń wahadłowych w płaszczyźnie poziomej dla trzech algorytmów synchronizacji:

- z kompensacją równomierną
- z kompensacją wagową
- kompensacyjno-czasowy.

Charakterystyczną cechą tego algorytmu jest fakt, że właściwości szybkiej zbieżności ujawniają się o ile spełniony tylko zostanie warunek (11). W tym przypadku algorytm jest wystarczająco szybki dla skutecznej kompensacji zarówno zakłóceń wolno- jak i szybkozmiennych.

### 4. Podsumowanie

W artykule przedstawiono trzy algorytmy synchronizacji przebiegów obciążania endoprotez stawu biodrowego w kierunkach wzajemnie prostopadłych. Oceniono algorytmy pod kątem szybkości dochodzenia do stanu synchronizacji. Stwierdzono słabe cechy zbieżności algorytmu z kompensacją równomierną, i akceptowalne właściwości synchronizacyjne algorytmu z kompensacją wagową oraz algorytmu kompensacyjno-czasowego. Algorytmy z kompensacją wagową zostały zaimplementowane w unikalnym stanowisku laboratoryjnym do badań trybologicznych endoprotez stawu biodrowego zainstalowanego na Wydziale Budowy Maszyn Politechniki Częstochowskiej.

### Literatura

- [1] Bartyś M.: *Sterownik do badań zmęczeniowych endoprotez stawów biodrowych*, Hydraulika i Pneumatyka, Zeszyt 2/2000, s. 13-16.
- [2] Bartyś M.: *Control unit for hip-joint prostheses wear and fatigue investigations*, Viertes Deutsch-Polnisches Seminar „Innovation und Fortschritt in der Fluidtechnik”, Sopot, 20-21 wrzesień 2001.
- [3] Bartyś M.: *Regulator mikroprocesorowy do rozdzielaczy elektrohydraulicznych o działaniu proporcjonalnym*, Maszyny Górnicze nr 8/62, 1996, str. 1-12.
- [4] Jastrzębski R.: *Hydrauliczne sterowanie stanowiskiem symulatora obciążeń do badań obciążeń endoprotez stawu biodrowego*, Hydraulika i Pneumatyka, (2000), nr 2, str. 5-9.

## NAGRODA NOT MISTRZ TECHNIKI WARSZAWA 2002

Nagrodę NOT II stopnia w konkursie „MISTRZ TECHNIKI Warszawa 2002” za „mostki tybo – ładunkowo równoważone układy jako oryginalne pomiarowe przetworniki analogowo-cyfrowe” otrzymał inż. Bolesław Tync z Zakładu Elektronicznej Aparatury Pomiarowej TYBO. „Mostki tybo” to niekonwencjonalny układ pomiarowy łączący zalety mostków zrównoważonych ładunkowo oraz przetworników analogowo-cyfrowych sigma-delta. Uzyskały one patenty w kategorii **sposób** i w kategorii **układ**. Szczegóły na stronie [www.tybo.pl](http://www.tybo.pl)

### ZAKŁAD ELEKTRONICZNEJ APARATURY POMIAROWEJ **tybo**<sup>®</sup>

ul. Mikołowska 2/2  
41-400 Mysłowice  
tel. 0-32 316 50 23  
tel. kom. 0-501 312 325

e-mail: [biuro@tybo.pl](mailto:biuro@tybo.pl)  
[www.tybo.pl](http://www.tybo.pl)