

MAREK GOZDALIK

Politechnika Łódzka
Instytut Konstrukcji Maszyn
Zakład Maszyn Roboczych i Napędów Hydraulicznych.

REGULACJA STAŁEJ MOCY W HYDROSTATYCZNYM MECHANIZMIE PODNOSZENIA

Słowa kluczowe: mechanizm podnoszenia, napęd hydrostatyczny, regulacja stałej mocy, modelowanie i symulacja komputerowa

Streszczenie: W mechanizmie podnoszenia z przekładnią hydrostatyczną korzystne jest wykorzystanie zmiennej chłonności silnika hydraulicznego do regulacji stałej mocy. W referacie przedstawiono propozycję struktury układu regulacji oraz zaprezentowano wyniki badań symulacyjnych cyklu pracy takiego mechanizmu dla całego zakresu obciążeń, przy różnych kierunkach przepływu energii.

1. WPROWADZENIE

Poza nielicznymi wyjątkami obciążenie typowych mechanizmów podnoszenia zmienia się w szerokim zakresie: od ciężaru ładunku nominalnego do ciężaru tylko samego elementu chwytneho (ruch jałowy), przy czym obciążenie może być zarówno bierne (podnoszenie), jak i czynne (opuszczanie). W przypadku, gdy mechanizm dysponuje jedną prędkością podnoszenia, można oczekiwać, że zainstalowana na urządzeniu moc będzie wykorzystywana sporadycznie. Zastosowanie regulatora stałej mocy umożliwia - w określonym zakresie regulacji - wykorzystanie całej mocy, jaką dysponuje mechanizm, poprzez podnoszenie ładunków mniejszych od nominalnego z odpowiednio większymi prędkościami, tak aby iloczyn prędkości v i obciążenia Q był stały i równy mocy nominalnej:

$$N_n = v \cdot Q = \text{const} \quad (1)$$

Zakres regulacji limitowany jest maksymalną dopuszczalną prędkością podnoszenia v_m wynikającą bezpośrednio z ograniczeń dopuszczalnych prędkości obrotowych elementów napędu, bądź też ze względów bezpieczeństwa. W niniejszej publikacji zakres regulacji z określony został jako stosunek maksymalnej prędkości podnoszenia v_m do prędkości nominalnej v_n .

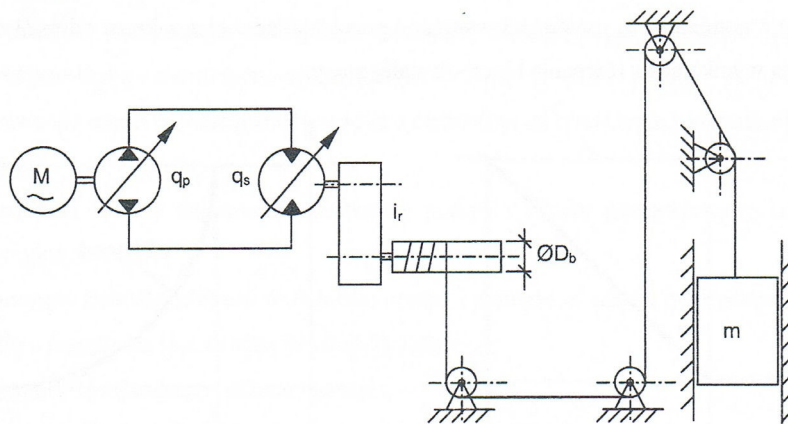
$$z = \frac{v_m}{v_n} \cong 3 \div 4 \quad (2)$$

Regulacja stałej mocy sprowadza się więc do dostosowywania prędkości podnoszenia do aktualnego obciążenia ładunkiem i jest realizowana w różny sposób, w zależności od rodzaju napędu.

Powszechnie znane i stosowane są układy hydrostatyczne o obiegu zamkniętym składające się z pompy o zmiennej wydajności jednostkowej i z silnika o stałej chłonności. Regulacja stałej mocy realizowana jest w takich układach poprzez zmianę wydajności pompy. Poza licznymi zaletami rozwiązanie takie posiada jedną zasadniczą wadę, mianowicie pompa i silnik muszą posiadać kilka razy (z) większą objętość jednostkową, a zatem i moc szczytową niż wynikałoby to z doboru dla klasycznego układu bez regulacji stałej mocy. Ceny dużych jednostek hydrostatycznych o zmiennej wydajności rosną wraz z wielkością. Ta z kolei jest ograniczona możliwościami konstrukcyjno-technologicznymi. Często jedynym wyjściem jest zastosowanie agregatów dwu- i wielopompowych. Korzystne zatem jest wyposażenie przekładni hydrostatycznej w silnik o zmiennej chłonności jednostkowej q_s i za pomocą zmiany tego parametru realizowanie regulacji stałej mocy. Wprawdzie silnik taki będzie droższy od swojego odpowiednika o stałej geometrii, ale za to pompa posiadać będzie nominalną wielkość, dobraną jak dla układu klasycznego. Ponadto w całym zakresie regulacji układ hydrostatyczny pracował będzie z nominalnym ciśnieniem, a więc w zakresie wysokiej sprawności mechaniczno-hydraulicznej.

W referacie opisane zostały badania symulacyjne hydrostatycznego mechanizmu podnoszenia z regulacją mocy realizowaną poprzez zmianę chłonności silnika. Określono optymalną dla opisanego napędu strukturę układu regulacji i przeprowadzono analizę wrażliwości parametrycznej, na podstawie której dobrano najkorzystniejszy zbiór parametrów regulatora stałej mocy ze względów na własności dynamiczne. Uzyskane wyniki są podstawą do zaprojektowania i budowy laboratoryjnego stanowiska w oparciu o istniejący już w

Zakładzie Maszyn Roboczych i Napędów Hydraulicznych i opisany w publikacji [1] mechanizm podnoszenia.



Rys 1. Schemat stanowiska badawczego

Napęd wciągarki stanowi przekładnia hydrostatyczna o obiegu zamkniętym z pompą wielotłoczkową o wychylnej tarczy napędzaną pierwotnym elektrycznym silnikiem asynchronicznym. Pompa pracuje w obiegu zamkniętym z silnikiem hydrostatycznym wielotłoczkowym osiowym o wychylnej tarczy.

2. UKŁAD STEROWANIA I REGULACJI

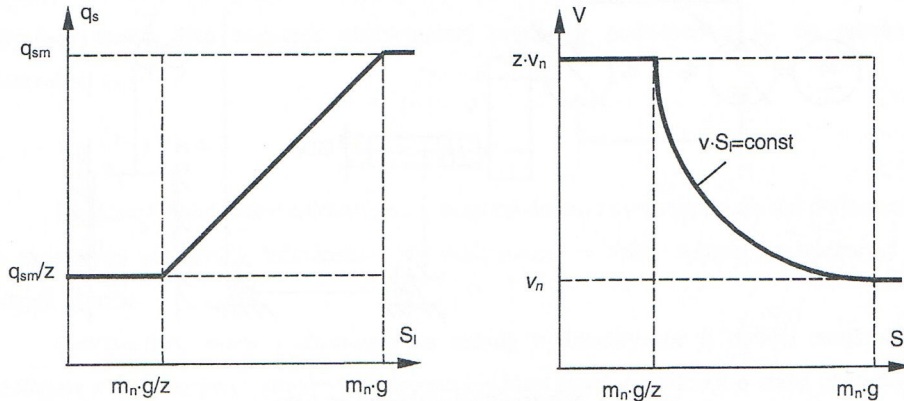
Zarówno pompa jak i silnik wyposażone są w elektrohydrauliczne nastawniki zmiany wydajności (chłonności) jednostkowej. Za pomocą zmiany wydajności pompy w zakresie od $-q_{pm}$ do $+q_{pm}$ realizowany jest rozruch i hamowanie układu dla ruchu podnoszenia i opuszczania wg dowolnej funkcji wymuszającej. Sterowanie wydajnością jednostkową pompy może zostać wykorzystane dla realizacji pozycjonowania ładunku poprzez wprowadzenie dodatkowego regulatora przemieszczenia. W tej fazie badań mechanizm podnoszenia nie jest w powyższy układ wyposażony.

Regulacja stałej mocy odbywa się poprzez zmianę chłonności jednostkowej silnika q_s odpowiednio do poziomu obciążenia ładunkiem wg poniższej zależności.

$$q_s = A_{reg} \cdot S_l \quad (3)$$

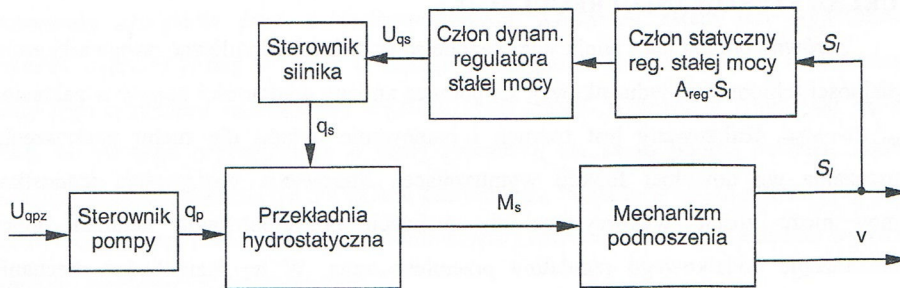
gdzie: A_{reg} – stała regulacji, S_l – siła w linach

W przykładzie przyjęto zakres regulacji $z=3$, tzn. że ładunki o masie równej i mniejszej niż $1/3$ masy nominalnej m_n będą podnoszone z ustaloną prędkością trzy razy większą niż nominalna v_n , natomiast wszystkie pozostałe ładunki z zakresu od $m_n/3$ do m_n z prędkością wynikającą z równania hiperboli stałej mocy.



Rys. 2. Charakterystyka statyczna regulatora stałej mocy

Regulator stałej mocy składa się z dwóch części: członu statycznego i dynamicznego. Pierwszy dostosowuje sygnał sterujący zmianą chłonności silnika do wartości siły w linie w warunkach ustalonych, zgodnie z hiperbolą stałej mocy. Człon dynamiczny ma za zadanie poprawę zachowania układu w stanach nieustalonych.



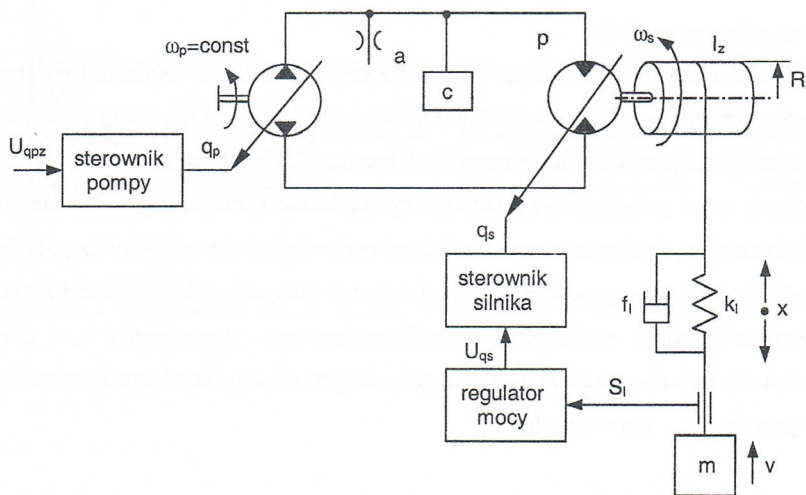
Rys. 3. Schemat blokowy układu sterowania i regulacji

Przeprowadzono serię wstępnych badań symulacyjnych, w wyniku których ustalono korzystną strukturę i parametry regulatora stałej mocy. Wstępne badania symulacyjne wykazały również, że dla prawidłowego przeprowadzenia rozruchu ładunku do góry niezbędne jest, aby chłonność jednostkowa silnika hydraulicznego była maksymalna w całym okresie rozruchu. Regulator mocy zostaje załączony dopiero po tym okresie.

3. MODEL DYNAMICZNY UKŁADU

Przy budowie modelu wciągarki przyjęto następujące założenia i uproszczenia:

- mechanizm podnoszenia zastąpiono modelem dwumasowym z linami jako więzią sprężysto-lepką z tłumieniem wiskotycznym,
- sprawność części mechanicznej jest stała i niezależna od obciążenia i kierunku przepływu energii,
- sterowniki zmiany objętości jednostkowej pompy i silnika zamodelowano jako człony inercyjne II rzędu,
- pominięto zjawisko pulsacji wydajności pompy i chłonności silnika hydrostatycznego,
- pompa napędzana jest ze stałą prędkością kątową,
- pojemność hydrauliczna układu jest stała,
- przecieki w obwodzie hydraulicznym są proporcjonalne do ciśnienia,
- straty momentu w silniku hydrostatycznym są proporcjonalne do jego prędkości kątowej,
- nie uwzględniono pracy zaworów ciśnieniowych,
- pominięto zjawiska falowe.



Rys. 4. Model wciągarki hydrostatycznej

W opisie matematycznym modelu zastosowano równania dynamiki, bilansu przepływu w obwodzie hydraulicznym oraz znane z automatyki zależności opisujące zastosowane człony. Model matematyczny opisano w przestrzeni zmiennych stanu i rozwiązano metodą numeryczną. Wybrano następujące zmienne stanu:

- p – różnica ciśnień na wlocie i wylocie silnika hydrostatycznego,
 v – prędkość ładunku,
 x – wydłużenie układu linowego,
 ω_s – prędkość kątowna silnika hydrostatycznego,
 q_p – wydajność jednostkowa pompy,
 z_{p2} – pomocnicza zmienna wewnętrzna sterownika wydajności pompy,
 q_s – chłonność jednostkowa silnika,
 z_{p1} – pomocnicza zmienna wewnętrzna sterownika chłonności silnika,
 U_{qs} – napięcie wyjściowe z regulatora stałej mocy.

Wielkością sterującą jest sygnał napięciowy U_{qpz} , za pomocą którego dokonywana jest zmiana wydajności jednostkowej pompy.

4. BADANIA SYMULACYJNE

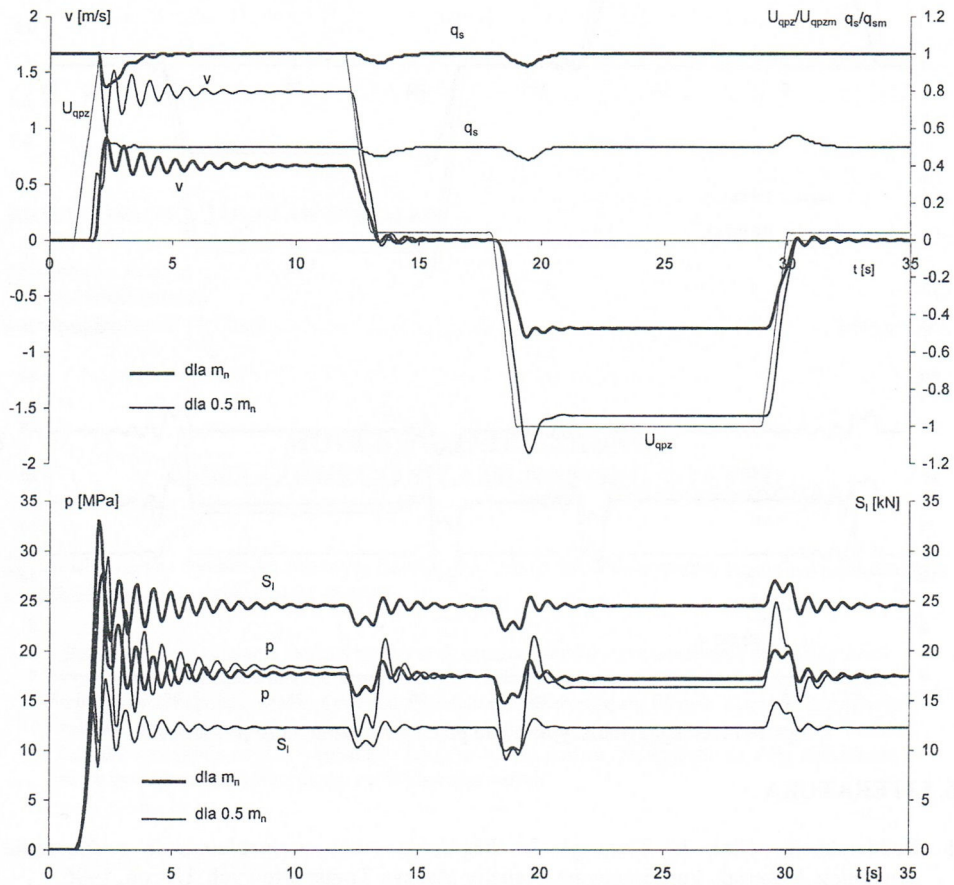
Przeprowadzono badania symulacyjne cyklu pracy składającego się z następujących etapów: rozruch do góry, podnoszenie ruchem ustalonym, hamowanie przy podnoszeniu, postój, rozruch do dołu (z tym samym ładunkiem), opuszczanie ruchem ustalonym, hamowanie przy opuszczaniu.

Badania wykonano dla różnych mas podnoszonego ładunku. Zbadano dwa przypadki rozruchu do góry: rozruch przy więziach wstępnie napiętych ciężarem podnoszonego ładunku („z powietrza”) oraz przy więziach nienapiętych bez luzu („z podłoża”), Na rysunkach 5 i 6 pokazano przykładowe wyniki badań symulacyjnych dla ładunków o masie nominalnej m_n i połowie masy nominalnej, odpowiednio dla rozruchu „z podłoża” i „z powietrza”. Zamieszczono przebiegi przebiegi czasowe następujących wielkości fizycznych: U_{qpz} - napięcie sterujące wydajnością jednostkową pompy – wymuszenie, q_s – chłonność jednostkowa silnika, v – prędkość ładunku, p – różnica ciśnień na wlocie i wylocie silnika hydrostatycznego, S_1 – siła w linach.

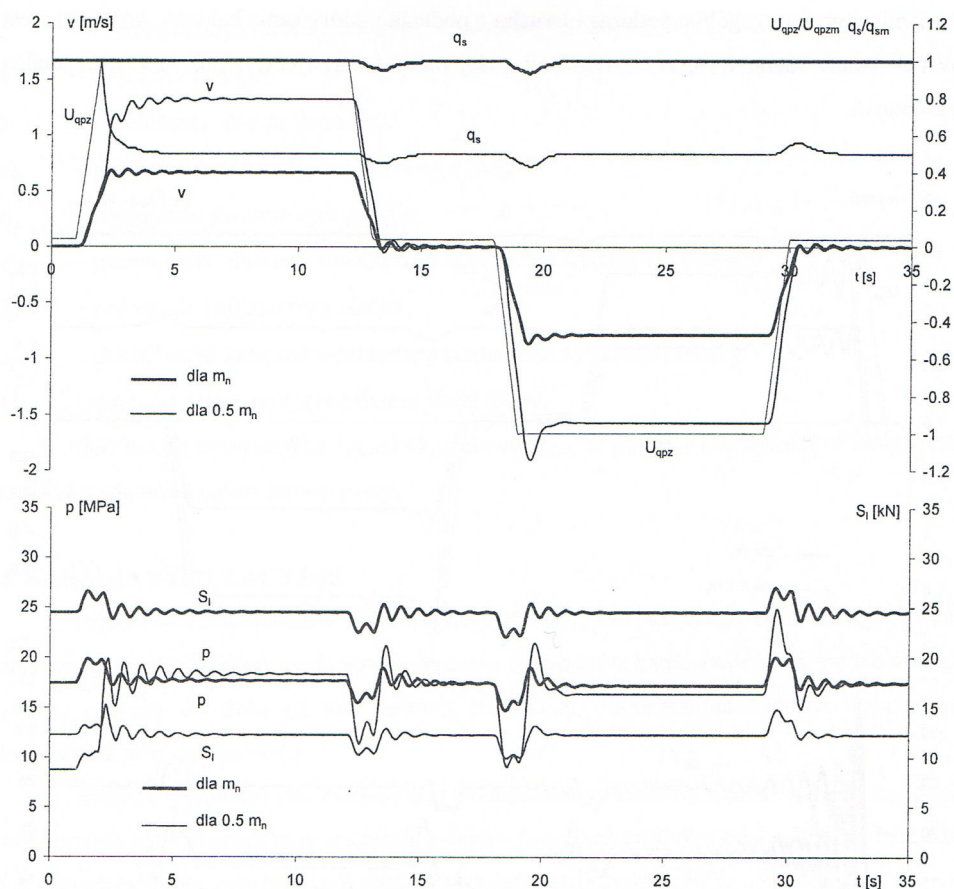
5. PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania symulacyjne potwierdzają prawidłowe działanie układu regulacji stałej mocy w całym cyklu roboczym i dla pełnego zakresu obciążeń. Wciągarka wyposażona w powyższy układ wykazuje dobre własności dynamiczne przy jednoczesnym zachowaniu poboru stałej mocy w ruchach ustalonych. W celu ograniczenia przeciążeń

dynamicznych, szczególnie podczas rozruchu z podłoża i podrywania ładunku, konieczne jest w tym etapie ruchu wyłączenie regulacji stałej mocy i ustawienie silnika na maksymalną chłonność.



Rys. 5. Przebiegi symulacyjne cyklu pracy przy rozruchu „z podłoża”



Rys. 6. Przebiegi symulacyjne cyklu pracy przy rozruchu „z powietrza”

6. LITERATURA

1. Bednarski S., Cink J., Tomczyk J.: *Regulacja mocy w mechanizmie podnoszenia dźwignicy*. Materiały konferencyjne: Napędy Maszyn Transportowych, Ustroń, 1996.
2. Tomczyk J.: *Modele dynamiczne elementów i układów napędów hydrostatycznych*. WNT, Warszawa, 1999.

THE CONSTANT POWER REGULATION IN THE HYDROSTATIC HOISTING WINCH

Summary

The hydrostatic drive with the variable displacement hydrostatic motor working in the constant power regulation system gives the good advantages. In the paper the conception of the control system structure and the results of simulation tests of the duty cycle are presented. The tests have been done for different directions of the energy transmission and for the full load range.