

SŁAWOMIR HALUSIAK¹

ANALIZA ENERGETYCZNA STAŁOCIŚNIENIOWEGO UKŁADU NAPĘDOWEGO MECHANIZMU PODNOSZENIA

Słowa kluczowe: sieć stałociśnieniowa, mechanizm podnoszenia, automatyzacja cyklu pracy, analiza energetyczna.

Streszczenie: W pracy przedstawiono wyniki badań symulacyjnych stałociśnieniowego układu napędowego mechanizmu podnoszenia pracującego w cyklu automatycznym. Dokonano oceny energetycznej cyklu pracy dla dwóch przypadków: pobór energii ze źródła pierwotnego oraz rekuperacja energii. Wyznaczono wartości ogólnych energetycznie uśrednionych współczynników sprawności układu.

1. WSTĘP

Zagadnienie energochłonności układów napędowych, szczególnie nowych systemów hydrostatycznych, powinno być dokładnie analizowane. Oszczędność energii ocenia się już w fazie projektowania układu uwzględniając [6]:

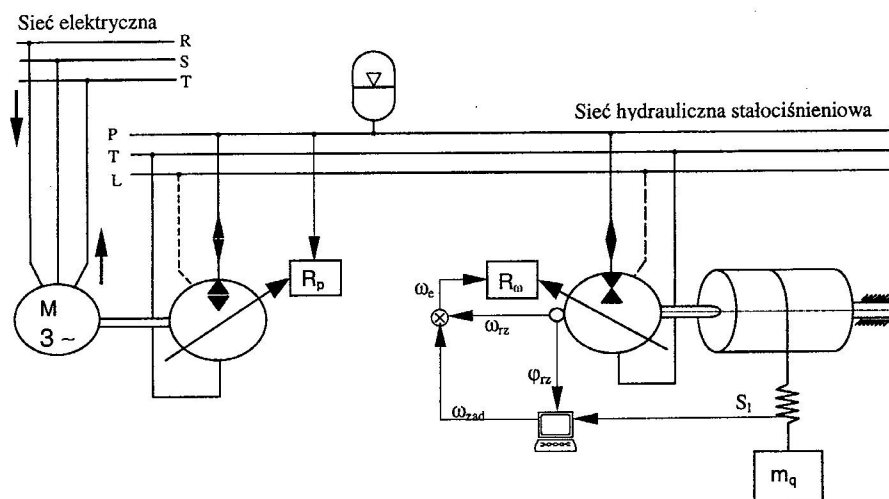
- prawidłowy dobór przewodów hydraulicznych
- minimalizację ogniw łańcucha napędowego
- proste układy dla zmniejszenia strat przepływu
- optymalizację wykorzystania wydajności
- rekuperację i akumulację energii, akumulatory hydrauliczne
- regulację stałego ciśnienia, stałej mocy.

Oszczędność energii uzyskuje się również przez zastosowanie odpowiednich technik sterowania i regulacji [3]. Przykładem nowoczesnego energooszczędnego układu jest układ z generatorem stałego ciśnienia, z którego zasila się odbiorniki o regulacji wtórnej. Wcześniejsze badania tego typu układów wykazały duże możliwości odzyskiwania i akumulacji energii [7,8,9]. W układach stałociśnieniowych odzysk energii odbywa się przy opuszczaniu ładunku poprzez zamianę energii potencjalnej i przetworzeniu jej przez jednostkę hydrostatyczną na energię hydrauliczną. Akumulacja energii może się odbywać poprzez ładowanie akumulatorów hydraulicznych. W układzie przekładni hydrostatycznej napędzanej silnikiem elektrycznym asynchronicznym odzysk energii możliwy jest w czasie opuszczania ładunku. Wówczas energia kinetyczna mechanizmu wymusza pracę pompą silnika hydrostatycznego, a pompa zaczyna pracować jako silnik, napędzając ze zwiększoną prędkością silnik elektryczny, który wykonuje pracę generatorową i oddaje energię do sieci elektrycznej. W niniejszym artykule przedstawiono analizę energetyczną układu stałociśnieniowego z możliwością rekuperacji energii potencjalnej i oddawania jej do sieci elektrycznej.

¹ Politechnika Łódzka

2. OPIS UKŁADU

Układ napędowy składa się z generatora stałociśnieniowego, napędzanego silnikiem elektrycznym asynchronicznym, wyposażonego w regulator ciśnienia i akumulator hydrauliczny. Generator był opisany we wcześniejszych pracach [5]. Generator zasila sieć hydrauliczną, do której podłączony jest silnik hydrostatyczny napędzający mechanizm podnoszenia wciągarki laboratoryjnej zaopatrzonej w układ regulacji mocy oraz pozycjonowania ładunku. Układy pozycjonowania ładunku i regulacji mocy zostały zbudowane w oparciu o wcześniejsze badania Zakładu MRiNH Politechniki Łódzkiej [1,2]. Schemat układu napędowego przedstawiono na rysunku 1. Mechanizm podnoszenia pracuje w systemie automatycznym. Wielkością wymuszającą jest zadawana prędkość wału silnika hydrostatycznego w poszczególnych etapach cyklu roboczego. Układ automatycznej regulacji wykształca wartość prędkości zadanej uwzględniając prędkość obrotową silnika ze względu na działanie regulatora stałej mocy oraz wymaganą prędkość ze względu na dojazd ładunku do wyznaczonego położenia końcowego. Hamowanie zatrzymujące realizowane jest bez udziału hamulców mechanicznych, na drodze zmiany chłonności jednostkowej silnika hydrostatycznego.



Rys. 1. Schemat układu napędowego

3. BADANIA SYMULACYJNE

Cykl pracy rozważanego układu składa się z następujących etapów: podnoszenie ładunku na założoną wysokość h_p , postój w powietrzu, opuszczanie ładunku na podłoże, luzowanie więzi, postój, podnoszenie pustego haka na założoną wysokość h_p , postój w powietrzu, opuszczanie pustego haka. Dla opisanego cyklu pracy wykonano badania symulacyjne określając pobór mocy – P przez pompę zasilającą, energię kinetyczną – E_k i potencjalną – E_p w cyklu pracy. Wyznaczono przebiegi czasowe chłonności jednostkowej silnika hydrostatycznego, prędkości kątowej zadanej i rzeczywistej silnika hydrostatycznego, prędkości kątowej silnika elektrycznego, prędkości ładunku. Wyniki badań symulacyjnych przedstawiono na rysunkach 2÷5.

4. ANALIZA ENERGETYCZNA UKŁADU

Dokonując oceny energetycznej cyklu pracy należy rozpatrzeć dwa przypadki: pobór energii przez układ oraz rekuperacja energii od układu do źródła pierwotnego. Dla pierwszego przypadku przepływu energii wyznacza się ogólny energetycznie uśredniony wskaźnik sprawności układu η_{oe} [4,6] wg wzoru 1. Dla drugiego przypadku wyznacza się współczynnik rekuperacji energii η_r wg wzoru 2.

$$\eta_{oe} = \frac{\sum_i E_n}{\sum_i \int_{ii}^{ki} P_p(t) dt} \quad (1)$$

gdzie: $\sum_i E_n$ – suma energii pobranych przez układ w różnych etapach cyklu,

$\sum_i \int_{ii}^{ki} P_p(t) dt$ – suma energii wydatkowanych ze źródła pierwotnego w różnych etapach cyklu

$$\eta_r = \frac{\sum_i \int_{ii}^{ki} P_r(t) dt}{\sum_i E_r} \quad (2)$$

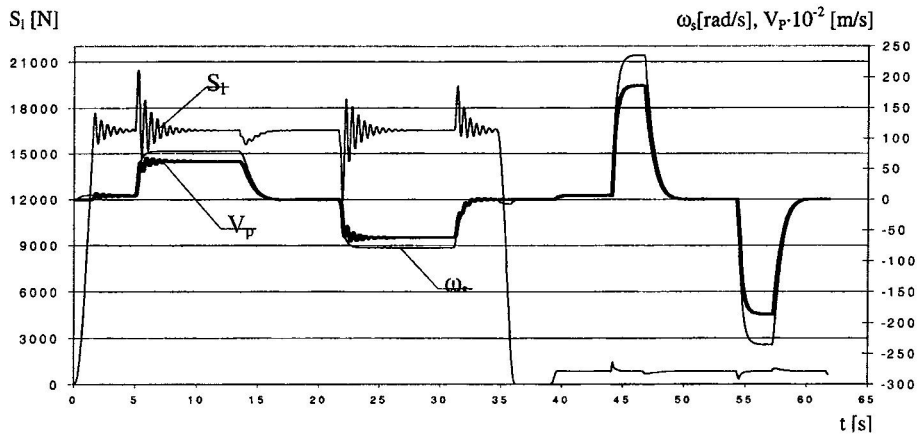
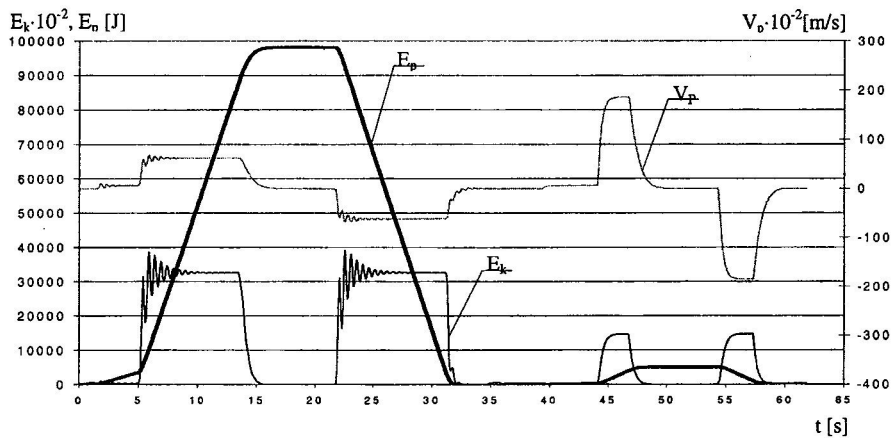
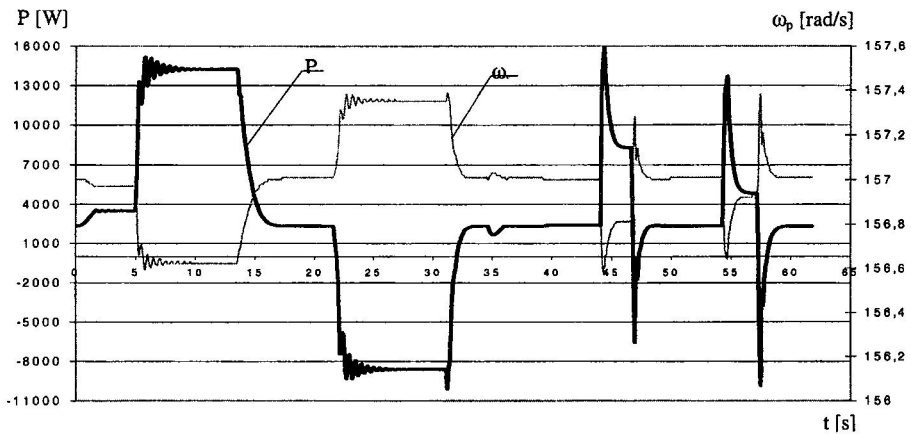
gdzie: $\sum_i \int_{ii}^{ki} P_r(t) dt$ – suma energii odbieranych przez źródło pierwotne w różnych etapach cyklu,

$\sum_i E_r$ – suma energii oddawanych przez układ w różnych etapach cyklu

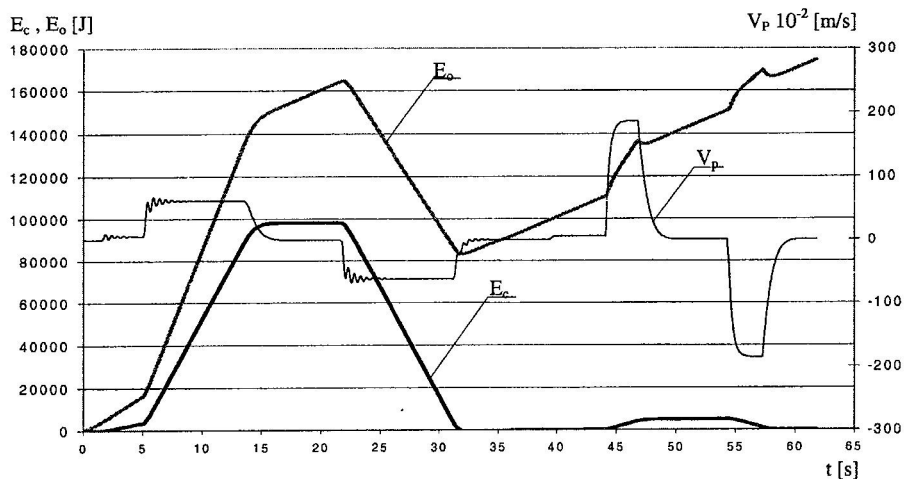
Opracowując wyniki badań symulacyjnych, zgodnie z zależnościami 1 i 2, wyznaczono wartości energii [J] oraz współczynników sprawności dla rozpatrywanego układu. Wyniki obliczeń przedstawiono w tabeli 1.

Tab. 1

	$\sum_i E_n$	$\sum_i \int_{ii}^{ki} P_p(t) dt$	$\sum_i \int_{ii}^{ki} P_r(t) dt$	$\sum_i E_r$	η_{oe}	η_r
Podnoszenie ładunku	98138	164182	0	0	0,6	–
Opuszczanie ładunku	0	0	81040	98030	–	0,83
Podnoszenie pustego haka	5001	53400	0	0	0,1	–
Opuszczanie pustego haka	0	19126	2362	5000	–	0,47
Pozostałe	0	14968	1505	0	–	–
Cały cykl	103139	251676	84907	103030	0,24	0,82

Rys. 2. Siła w linii S_1 oraz prędkość podnoszenia V_p i prędkość kątowna silnika ω_s Rys. 3. Energia potencjalna E_p i kinetyczna E_k w cyklu pracy.

Rys. 4. Moc na wale pompy głównej oraz prędkość kątowna wału pompy w cyklu pracy

Rys. 5. Porównanie energii źródła E_o i energii całkowitej układu E_c w cyklu pracy

5. PODSUMOWANIE

Z przeprowadzonej analizy energetycznej układu napędowego wyznaczono wartości ogólnych energetycznie uśrednionych współczynników sprawności η_{oe} oraz η_r . Dla przypadku przepływu energii od źródła pierwotnego do silnika napędowego współczynnik sprawności energetycznej osiąga wartość chwilową $\eta_{oe} = 0.66$, natomiast dla całego cyklu roboczego $\eta_{oe} = 0.24$. W przypadku oddawania energii do sieci współczynnik sprawności rekuperacji osiąga wartość chwilową $\eta_r = 0.85$, natomiast dla cyklu roboczego $\eta_r = 0.82$.

Sprawność energetyczną cyklu roboczego można zwiększyć zapewniając długą pracę mechanizmu w ruchu ustalonym przy krótkich czasach postoju. Sprawność odzysku energii w rozpatrywanym cyklu jest dość duża. Odzysk energii dotyczy przede wszystkim energii potencjalnej. Odzysk energii kinetycznej może być brany pod uwagę przy obciążeniu częściowym, ze względu na działanie regulatora stałej mocy, który w rozpatrywanym układzie umożliwia opuszczanie pustego haka z prędkością trzykrotnie większą w stosunku do prędkości nominalnej.

W rozpatrywanym cyklu przy przepływie mocy od ładunku do pompy głównej istnieje możliwość zmniejszenia energii pobieranej przez silnik elektryczny o ok. 50%.

6. LITERATURA

1. Bednarski S., Cink J.: *Pozycjonowanie ładunku w ruchu roboczym wciągarki hydrostatycznej*. Materiały Konferencji Naukowo-Technicznej Napęd i Sterowania Hydrauliczne. Wrocław – Polanica Zdrój 1999.
2. Bednarski S., Cink J., Tomczyk J.: *Regulacja mocy w mechanizmie podnoszenia dźwignicy*. Materiały Konferencji Naukowo-Technicznej Napędy Maszyn Transportowych. Ustroń Śląski, wrzesień 1999.
3. Dindrof R. i inni : *Energooszczędne hydrostatyczne układy napędowe*. Materiały III Seminarium Napędy i Sterowania, Gdańsk 25 – 28 II 1997.

4. Dindrof R.: *Hydrostatyczne układy napędowe z generatorem ciśnienia*. Sterowanie i Napęd Hydrauliczny 1/92.
5. Halusiak S., Tomczyk J.: *Wpływ pojemności akumulatora hydraulicznego na parametry dynamiczne regulatora ciśnienia zespołu zasilającego*. Materiały Konferencji Transhydro 2001, Wrocław – Szklarska Poręba 3 – 6. X 2001.
6. Oziemski S.: *Oszczędność energii w konstrukcjach maszyn*. Przegląd Mechaniczny 16 – 20/84.
7. Szydelski Z.: *Systemy sterowania napędów hydrostatycznych*. Sterowanie i Napęd Hydrauliczny 4/91.
8. Tomczyk J.: *Modele dynamiczne elementów i układów napędów hydrostatycznych*. Monografia. WNT, Warszawa 1999.
9. Tomczyk J.: *Odzyskiwanie energii w napędzie elektrohydrostatycznym*. Sterowanie i Napęd Hydrauliczny 4/91.

THE ENERGETIC ANALYSIS OF THE POWER-CONSTANT SYSTEM DRIVE OF HOISTING MECHANISM

Summary

Results of simulation tests of the constant pressure system of hoisting winch drive working in automatic cycle are presented. The energetic assessment was made for two cases of working cycles: power input from primary source and for energy recuperation. General energetically averaging efficiency coefficients of the system were specified.

Pracę wykonano w ramach projektu badawczego Nr1523/TO7/2001/20 finansowanego przez Komitet Badań Naukowych w latach 2001 - 2003.