ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1992
Seria: AUTOMATYKA z. 110 Nr kol. 1176

Dariusz Lasek

Instytut Technologii Mechanicznej
Politechnika Warszawska

ENERGOOSZCZĘDNE NAPĘDY PNEUMATYCZNE MANIPULATÓRÓW PRZEMYSŁOWYCH

ENERGY-ECONOMICAL PNEUMATIC DRIVE OF INDUSTRY MANIPULATORS

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ЭКОНОМНЫЙ ПНЕВМАТИЧЕСКИЙ ПРИВОД ПРОМЫШЛЕННЫХ МАНИПУЛЯТОРОВ

Streszczenie: W referacie przedstawiono różne rozwiązania pneumatycznych układów i zaworów energooszczędnych oraz możliwości ich zastosowania do manipulatorów przemysłowych.

Sumary: In this report some solutions of pneumatic energy-economical systems and valves are presented as well as some posibilities to apply them in industry manipulators.

Резюме: В работе представлены различные решения пневматических систем и энергетически экономных клапанов вместе с возможностями их применения в промышленных манипуляторах.

Wstęp

Pneumatyczne układy napędowe są jednym z głównych środków napędowych maszyn automatyzujących i mechanizujących proces produkcyjny. Są one nadal szeroko stosowane tam, gdzie wykonywane są prostoliniowe ruchy. Jednak podstawową wadą układów pneumatycznych jest wysoki koszt wytworzenia energii sprężonego powietrza. Z tego powodu celowe stało się takie projektowanie układów pneumatycznych, aby zostało zminimalizowane zużycie energii sprężonego powietrza. Zużycie sprężonego powietrza zależne jest od objętości komór elementów wykonawczych (np siłowników) oraz ciśnienia zasilania tych elementów zgodnie ze wzorem:

$$W=V*p$$

gdzie: W-wielkość zużytej energii, V-objętość komory elementu wykonawczego, p-ciśnienie zasilania.

Projektując układ napędowy dobieramy wielkość siłownika biorąc pod uwagę jego obciążenie i wymagany skok. Gdy te wielkości dobrano prawidłowo, to jedynym parametrem, którym można wpływać na zmniejszenie zużycia powietrza, jest wielkość ciśnienia zasilania. W większości przypadków układy pneumatyczne były tak projektowane, że do ruchu roboczego i jałowego wykorzystywano powietrze o takim samym ciśnieniu. Układ pneumatyczny powinien być tak projektowany, aby do ruchu roboczego było wykorzystywane powietrze o ciśnieniu niezbędnym do wykonania zadanej pracy, a do ruchu jałowego - ciśnienie tylko o takiej wielkości, aby umożliwiło pewne wycofanie tłoka siłownika do położenia początkowego. Układy działające na takiej zasadzie zostały nazwane układami energooszczędnymi.

Rozwiązania układów energooszczędnych

Układy energooszczędne można projektować w dwojaki sposób:

-wykorzystując typowe elementy pneumatyczne,

-stosując specjalne zawory energooszczędne.

Jak wcześniej wspomniano, w "tradycyjnym" układzie napędowym (rys.1) prawa i lewa komora siłownika jest zasilana powietrzem o takim samym ciśnieniu. Zużycie energii w tym wypadku wynosi:

$$Ws=2*p*V$$

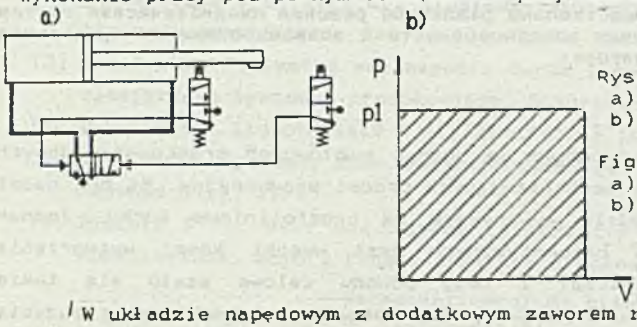
gdzie:

p=p1=p2,

p1-ciśnienie zasilania przy ruchu roboczym,

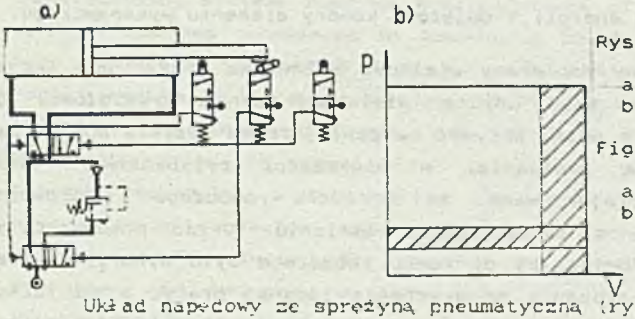
p2-ciśnienie zasilania przy ruchu jałowym.

Taki układ powinno się stosować tylko wtedy, gdy istnieje konieczność wykonania pracy pod pełnym obciążeniem przy obu kierunkach ruchu tłoka.



Rys.1.Układ "tradycyjny"
a) schemat układu
b) interpretacja geometryczna zużycia powietrza
Fig.1. Traditional system
a) diagram of system
b) interpretation geometrical of air consumption system

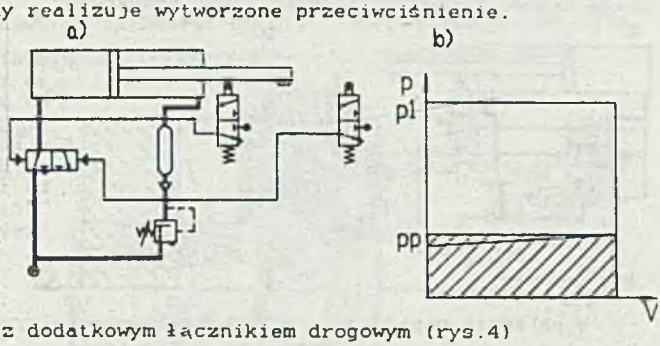
W układzie napędowym z dodatkowym zaworem redukcyjnym (rys.2) zasilanie siłownika przy ruchu jałowym odbywa się poprzez zawór redukcyjny, nastawiony na określone ciśnienie niższe niż przy ruchu roboczym. Zawór redukcyjny może być umieszczony w dwóch miejscach układu zależnie od przyjętego rozwiązania.



Rys.2.Układ z dodatkowym zaworem redukcyjnym
a) schemat układu
b) interpretacja geometryczna zużycia powietrza
Fig.2. With addition reducing valve system
a) diagram of system
b) interpretation geometrical of air consumption system

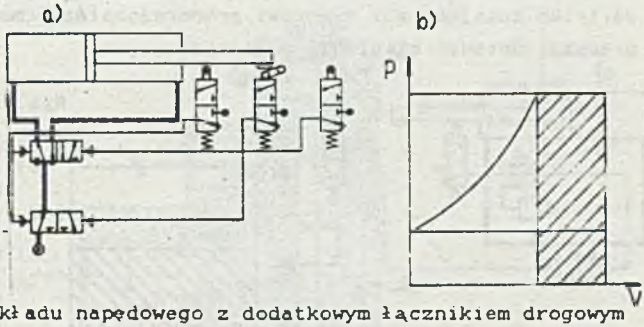
Układ napędowy ze sprężyną pneumatyczną (rys.3) został tak zaprojektowany, że do ruchu roboczego jest wykorzystywane powietrze o nieco wyższym ciśnieniu niż byłoby to konieczne do wykonania tego ruchu. W czasie ruchu tłoka powietrze z drugiej komory nie jest wypuszczane do atmosfery, lecz napełnia dodatkowy zbiornik o objętości 5-6 razy większej od objętości komory siłownika. Wielkość przeciwciśnienia w drugiej komorze siłownika jest nastawiana poprzez zawór redukcyjny. Zastosowanie

dość dużego zbiornika spowoduje stosunkowo mały wzrost przeciwciśnienia. Zwiększone zużycie powietrza przy ruchu roboczym jest kompensowane tym, że przy ruchu powrotnym nie występuje potrzeba doprowadzania dodatkowej energii - ruch powrotny realizuje wytworzone przeciwciśnienie.



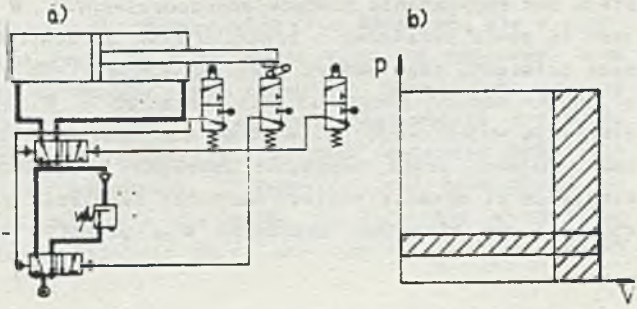
Rys.3.Układ ze sprężyną pneumatyczną
a) schemat układu
b) interpretacja geometryczna zużycia powietrza
Fig.3.With pneumatic spring system
a) diagram of system
b) interpretation geometrical of air consumption system

Działanie układu z dodatkowym łącznikiem drogowym (rys.4) polega na tym, że przy ruchu powrotnym tłoka przy pewnym jego położeniu (sygnalizowanym poprzez dodatkowy łącznik drogowy) następuje odcięcie doprowadzenia powietrza do komory siłownika. Dalszy ruch tłoka siłownika odbywa się na drodze politropowego rozprężania się powietrza zmagazynowanego w komorze siłownika.



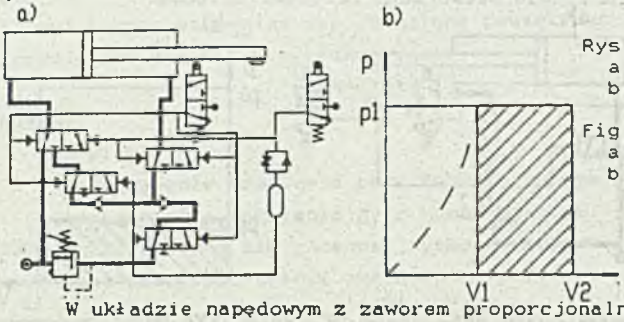
Rys.4.Układ z dodatkowym łącznikiem drogowym
a) schemat układu
b) interpretacja geometryczna zużycia powietrza
Fig.4. With aditin switch system
a) diagram of system
b) interpretation geometrical of air consumption system

Zasada działania układu napędowego z dodatkowym łącznikiem drogowym i zaworem redukcyjnym (rys.5) jest analogiczna do poprzedniego z jednym wyjątkiem. Przy ruchu powrotnym, podczas politropowego rozprężania się powietrza, gdy ciśnienie spadnie poniżej określonej wartości (nastawionej dodatkowym zaworem redukcyjnym), następuje doładowanie komory siłownika powietrzem o nastawionej wielkości ciśnienia.



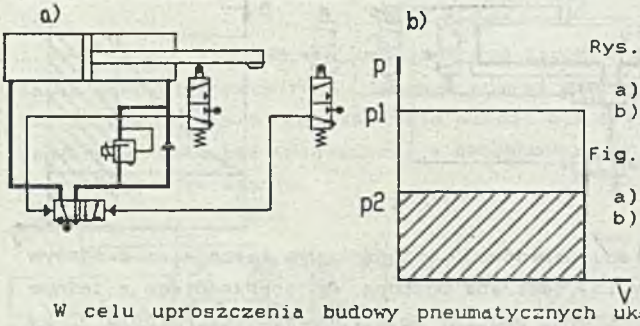
Rys.5.Układ z dodatkowym łącznikiem drogowym i zaworem redukcyjnym
a) schemat układu
b) interpretacja geometryczna zużycia powietrza
Fig.5.With adition switch and reducing valve system
a) diagram of system
b) interpretation geometrical of air consumption system

W układzie napędowym różnicowym (rys.6) w początkowym okresie ruchu powrotnego następuje przepływ powietrza z jednej do drugiej komory siłownika aż do momentu wyrównania się ciśnień. Następnie zasilana jest prawa komora siłownika poprzez zawór redukcyjny.



Rys.6.Układ różnicowy
a) schemat układu
b) interpretacja geometryczna zużycia powietrza
Fig.6. Differential system
a) diagram of system
b) interpretation geometrical of air consumption system

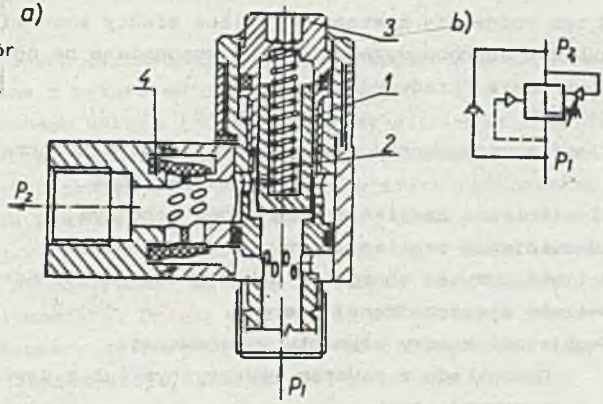
W układzie napędowym z zaworem proporcjonalnym (rys.7) istnieje możliwość nastawiania określonej wartości ciśnienia zasilania poprzez zawór proporcjonalny. Zastosowanie tych zaworów jest szczególnie wskazane, gdy istnieje kilka różnych możliwych wartości obciążenia. W tym przypadku można ustalić wartość ciśnienia zasilania komór siłownika za pomocą zaworu proporcjonalnego. Ten układ jest bardzo podobny do układu 2a, tylko tutaj dzięki zaworowi proporcjonalnemu można szybciej i z większą precyzją ustawić ciśnienie zasilania.



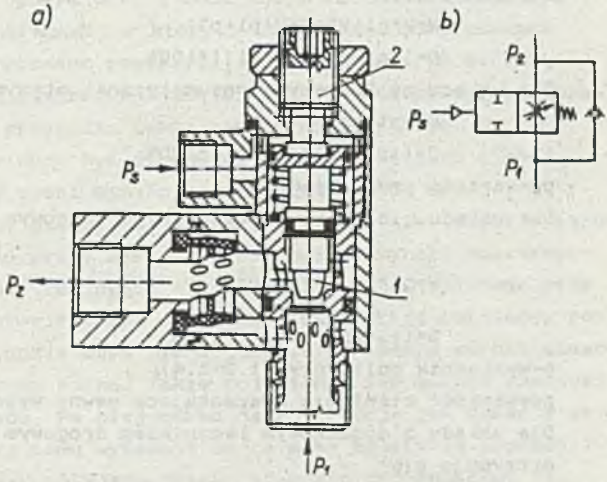
Rys.7.Układ z zaworem proporcjonalnym
a) schemat układu
b) interpretacja geometryczna zużycia powietrza
Fig.7.With proportional valve system
a) diagram of system
b) interpretation geometrical of air consumption system

W celu uproszczenia budowy pneumatycznych układów energooszczędnych zostały zaprojektowane specjalne zawory, tzw. zawory energooszczędne. Są one obecnie produkowane przez wiele firm, np.:Bosch, Legris, Telemecanique, a także przez OBR-Elementów i Układów Pneumatyki-Kielce. Zasadniczo istnieją dwa rozwiązania zaworów energooszczędnych. W pierwszym rozwiązaniu jest to zawór różnicowy z bocznikującym go zaworem zwrotnym(rys.8). Zasada działania tego zaworu jest następująca: na grzybek zaworu 1 działa z jednej strony ciśnienie zasilania p1 a z drugiej strony- siła od ciśnienia wyjściowego p2. Wartość ciśnienia p2 przy stałej wartości p1 można ustawić przez napinanie sprężyny 2 za pomocą pokrętła 3. Kiedy ciśnienie p1 spadnie poniżej wartości ciśnienia p2, wtedy następuje rozchylenie cylindrycznej uszczelki 4 i przepływ sprężonego powietrza w

kierunku przeciwnym z pominięciem zaworu różnicowego. Uszczelka znajdująca się w zaworze spełnia rolę zaworu zwrotnego. W Instytucie Technologii Mechanicznej Politechniki Warszawskiej zaprojektowano taki zawór uzupełniając go zaworem szybkiego spustu, który kieruje powietrze bezpośrednio do otoczenia z pominięciem pozostałych elementów układu.



Rys.8.Energooszczędny zawór nastawiany ręcznie
a) rozwiązanie konstrukcyjne
b) schemat zaworu
Fig.8.Energy-economical valve put on by hand.
a) construction of solution
b) diagram of system



Rys.9
Energooszczędny zawór nastawiany ręcznie ze sterowaniem
a)rozwiązanie konstrukcyjne
b)schemat zaworu
Fig.9.Energy-economical valve put on by hand.
a)construction of solution
b)diagram of system

W drugim rozwiązaniu zawór energooszczędny (rys.9) składa się z zaworu rozdzielającego 2/2 sterowanego sygnałem od łącznika drogowego oraz bocznikującego go zaworu zwrotnego. Przy normalnej pracy zawór pracuje jako zawór dławiący, czyli istnieje możliwość nastawiania natężenia przepływu. W momencie przyjścia sygnału sterującego następuje zamknięcie doprowadzenia powietrza do siłownika. Z jednej strony zabezpiecza to przed wzrostem ciśnienia, gdy tłok siłownika znajduje się w skrajnym położeniu. Z drugiej strony zapewnia to, że gdy sygnał sterujący pojawi

się przed osiągnięciem skrajnego położenia tłoka siłownika, to dalszy ruch tłoka będzie odbywał się na skutek politropowego rozprężania się powietrza zmagazynowanego w komorze siłownika. Także ten rodzaj zaworu zaprojektowano w PW-ITM wyposażając go w zawór szybkiego spustu.

Porównanie efektów ekonomicznych zastosowania układów energooszczędnych

W tym rozdziale zostaną określone efekty ekonomiczne zastosowania układów energooszczędnych. Jak wspomniano na początku, energia Ws zużywana w układzie "tradycyjnym" wynosi:

$$Ws=2*p1*V$$

Ilość zoszczędzonej energii sprężonego powietrza wynosi:

$$O=(Ws-W)/Ws*100\%$$

p1-ciśnienie zasilania przy ruchu roboczym,
p2-ciśnienie zasilania przy ruchu jałowym,
W-ilość zużytej energii z układem energooszczędnym,
O-ilość zaoszczędzonej energii,
V-objętość komory elementu wykonawczego.

Dla układu z zaworem redukcyjnym lub z zaworem proporcjonalnym otrzymuje się:

$$W=V*p1+V*p2=V(p1+p2)$$

$$O=[(p1-p2)/(2*p1)]*100\%$$

Dla układu ze "sprężyną pneumatyczną" otrzymuje się:

$$W=(p1+pp)*V$$

$$O=[(p1-pp)/(2*p1)]*100\%$$

pp-wartość przeciwciśnienia

Dla układu z dodatkowym łącznikiem drogowym otrzymuje się:

$$W=p1*V*(1+\sqrt[n]{po/p1})$$

$$O=[(1-\sqrt[n]{po/p1})/2]*100\%$$

n-wykładnik politropy (1.3-1.4),
po-wartość ciśnienia gwarantująca pewne wycofanie tłoka siłownika.

Dla układu z dodatkowym łącznikiem drogowym i zaworem redukcyjnym otrzymuje się:

$$W=[(p1*(1+\sqrt[n]{po/p1})+(p3-po)]*V$$

$$O=\{[(1-\sqrt[n]{po/p1})/2]-[(p3-p2)/(2*p1)]\}*100\%$$

p3-ciśnienie nastawiane dodatkowym zaworem redukcyjnym.

Dla układu różnicowego otrzymuje się:

$$W=p2*(V-V1)$$

$$O=[p1*V+(V-V1)*p2]/(2*p1*V)*100\%$$

V1-zmiana objętości na skutek przesunięcia tłoka przy wyrównywaniu ciśnień.

Szacunkowo oszczędności energii z tytułu zastosowania zaworów i układów energooszczędnych sięgają od 20% do 60% w zależności od zastosowanego rozwiązania.

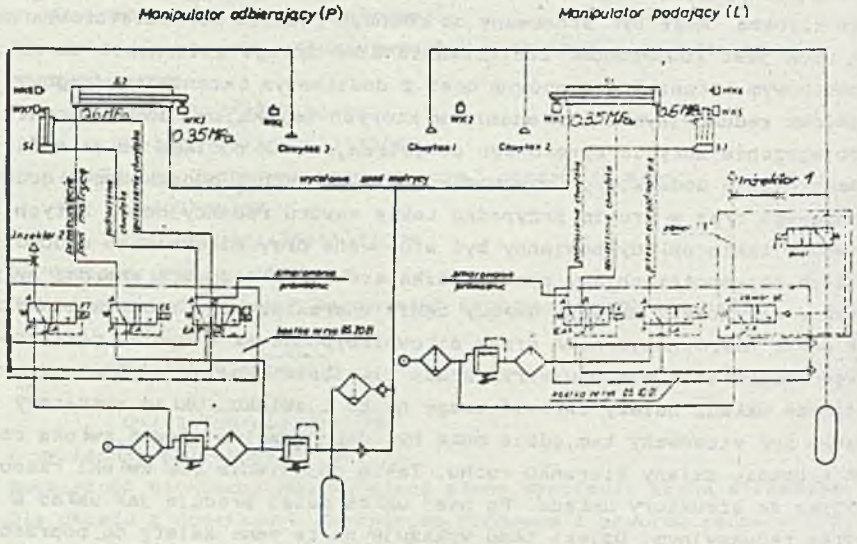
Kryteria doboru układów energooszczędnych w napędach manipulatorów

Wybór wariantu układu energooszczędnego powinien uwzględniać zarówno efekty ekonomiczne uzyskane z tytułu oszczędności energii jak i koszty wykonania zastosowanego układu i dynamikę pracy siłownika. Należy stwierdzić, że układ z zaworem redukcyjnym zapewnia stosunkowo małe oszczędności energii ale jest przy tym tani i zapewnia w miarę równomierną pracę siłownika. Ten układ powinien być stosowany przy prostych małych manipulatorach, a także gdy konieczny jest równomierny ruch tłoka siłownika. Układ ze "sprężyną pneumatyczną" ma taką zaletę, że część powietrza nie jest wypuszczana do atmosfery. Dzięki temu praca układu jest znacznie cichsza. Może być stosowany do różnego rodzaju manipulatorów, a jedyną wadą jest konieczność zastosowania dość dużego zbiornika. Układ z dodatkowym łącznikiem drogowym oraz z dodatkowym łącznikiem drogowym i zaworem redukcyjnym są układami, w których uzyskujemy dość znaczne zmniejszenie zużycia sprężonego powietrza, jednak pociąga to za sobą zamontowanie dodatkowych zaworów rozdzielających i dodatkowego łącznika drogowego oraz w drugim przypadku także zaworu redukcyjnego. Z tych powodów takie układy powinnny być stosowane przy siłownikach o dość dużych pojemnościach, aby zyski wynikające z oszczędności energii były wyższe niż koszty układu. Układy takie charakteryzują się tym, że wykazują pewną nierównomierność pracy siłownika, ponieważ w wyniku politropowego rozprężania się powietrza spada ciśnienie zasilania. Dlatego przy doborze układu należy zwrócić uwagę na to zjawisko. Układ różnicowy powinen być stosowany tam, gdzie może być dopuszczalna pewna zwłoka czasowa w czasie zmiany kierunku ruchu. Takie pojawienie się zwłoki czasowej wynika ze struktury układu. Po niej układ dalej pracuje jak układ z zaworem redukcyjnym. Dzięki temu wykazuje on te same zalety co poprzedni ale zużycie powietrza jest mniejsze dzięki zjawisku zachodzącemu na początku ruchu jałowego. Wadą tego układu jest stosunkowo wysoki koszt układu przez dołączenie dodatkowych zaworów rozdzielających. Mimo tej wady układ taki powinien być stosowany do dużych manipulatorów ze względu na koszt układu. Należy także pamiętać o opóźnieniu na początku ruchu. Układ z zaworem proporcjonalnym jest szczególnie przydatny tam, gdzie istnieje kilka wartości obciążenia siłownika. Wtedy w zależności od obciążenia możemy przestawić zawór proporcjonalny sygnałem elektrycznym na żądane ciśnienie zasilania. Jednak wadą tego układu jest koszt

zaworu proporcjonalnego. Zaletą tego układu jest możliwość szybkiej zmiany ciśnienia zasilania, prostota układu i równomierna praca siłownika. Ten układ powinien być stosowany do manipulatorów z dużymi lub średnimi siłownikami, a także gdy konieczna jest częsta zmiana ciśnienia zasilania. Układy z zaworami energooszczędnymi powinny być stosowane do wszystkich wielkości manipulatorów, także gdy istnieje konieczność częstej zmiany ciśnienia zasilania w trakcie ruchu siłownika.

Przykłady zastosowania

Autonomiczne stanowisko podające półfabrykaty na prasy (rys.10). Składa się ono z dwóch manipulatorów-podającego i odbierającego oraz magazynu części. Do napędu manipulatorów zastosowano dwa siłowniki (S1 iS2) D63*630 do ruchu wzdłużnego oraz dwa siłowniki (S3 i S4) D63*80 do ruchu pionowego. Do ruchu wzdłużnego zastosowano tutaj układ ze "sprężyną pneumatyczną"



Rys.10. Autonomiczne stanowisko podające półfabrykaty na prasy

Fig.10. Standpoint autonomy serving semi-finished product for press

Zużycie powietrza z układem energooszczędnym

$$W=(0.6+0.35)*2*2*10^{-3}=3.8*10^{-3}J$$

Zużycie powietrza bez układu energooszczędnego

$$Ws=2*0.6*2*10^{-3}=4.8*10^{-3}J$$

Ilość zaoszczędzonej energii

$$O=((4.8*10^{-3}-3.8*10^{-3})/4.8*10^{-3})*100\%=21\%$$

Manipulator podający ciężkie przedmioty (rys.11)

Stanowisko składa się z następujących siłowników:

O-do ruchu nastawczego D32*60,

X-do ruchu poziomego D100*1000,

Y-do ruchu pionowego D100*630,

Z-do zamykania łapy D50*50.

Zużycie powietrza z układem energooszczędnym

Siłownika X

$$W=(0.8+0.5)*7.8*10^{-3}=10.1*10^{-3}\ J$$

Siłownika Y

$$W=(0.8+0.4)*5*10^{-3}=6*10^{-3}\ J$$

Zużycie powietrza bez układu energooszczędnego

Siłownika X

$$Ws=2*0.8*7.8*10^{-3}=12.5*10^{-3}\ J$$

Siłownika Y

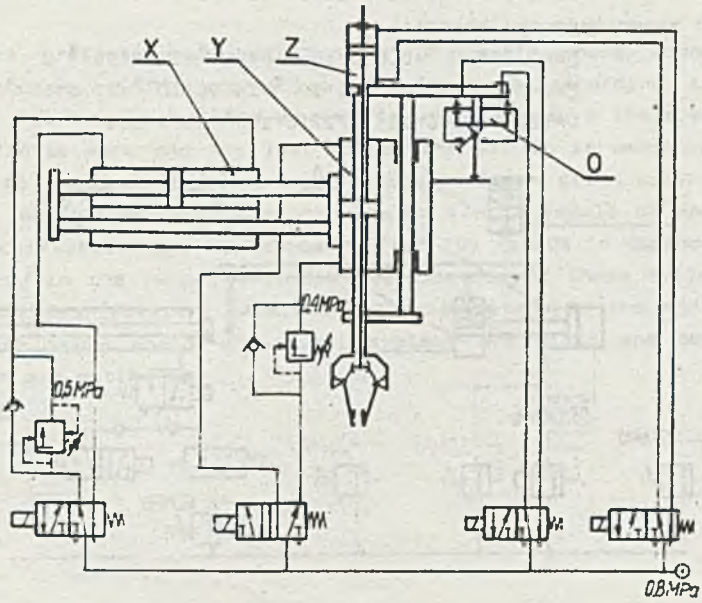
$$Ws=2*0.8*5*10^{-3}=8*10^{-3}\ J$$

Ilość zaoszczędzonej energii

$$\sum W=10.1*10^{-3}+6*10^{-3}=16.1*10^{-3}\ J$$

$$\sum Ws=12.5*10^{-3}+8*10^{-3}=20.5*10^{-3}\ J$$

$$O=[20.5*10^{-3}-16.1*10^{-3}]/10.5*10^{-3}*100\%=21\%$$



Rys.11 Manipulator podający ciężkie przedmioty

Fig.11. Manipulator serving hevy objects

Stół krzyżowy współpracujący z manipulatorem (rys.12)

W skład stołu wchodzą następujące siłowniki

A-do ruchu nastawczego o jedną podziałkę,

B-do blokowania stołu podczas ruchu nastawczego,

C-do blokowania stołu podczas postoju,

D-do wycofania stołu w położenie wyjściowe.

Zużycie powietrza z układami energooszczędnymi

Siłownik A

$$W=2*[(0.8+0.4)/2+0.2]*0.8*10^{-9}=1.28*10^{-9}\ J$$

Siłownik B i C

$$W=4*0.3*0.03*10^{-9}=0.036*10^{-9}\ J$$

Siłownik D

$$W=2*(0.4*7.8*10^{-9}+[7.8*10^{-9}-0.8*10^{-9}]*0.2)=9.0*10^{-9}\ J$$

Zużycie powietrza bez układu energooszczędnego

Siłownik A

$$Ws=4*0.8*0.8*10^{-9}=2.56*10^{-9}\ J$$

Siłownik B i C

$$Ws=4*0.8*0.03*10^{-9}=0.096*10^{-9}\ J$$

Siłownik D

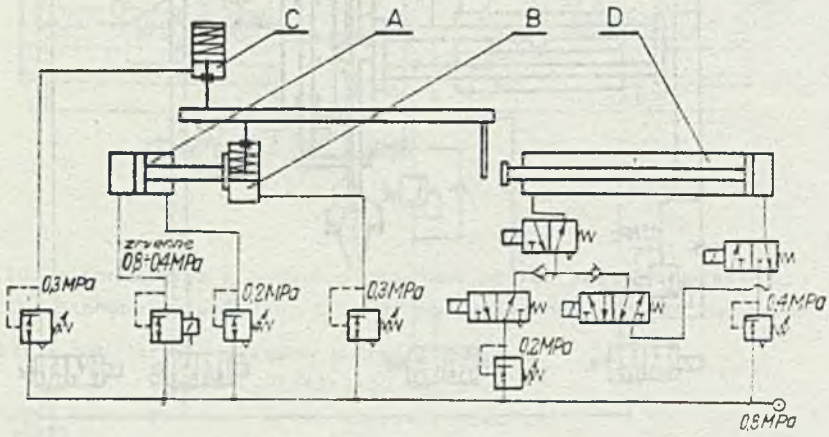
$$Ws=4*0.8*7.8*10^{-9}=24.96*10^{-9}\ J$$

Ilość zaoszczędzonej energii

$$\Sigma W=1.28*10^{-9}+0.036*10^{-9}+9*10^{-9}=11.6*10^{-9}\ J$$

$$\Sigma Ws=2.56*10^{-9}+0.096*10^{-9}+24.96*10^{-9}=27.6*10^{-9}\ J$$

$$O=[27.6-11.6*10^{-9}]/27.6*10^{-9}*100\%=58\%$$



Rys.12 Stół krzyżowy współpracujący z manipulatorem

Fig.12. Cruciform table collaborating with manipulator

Podsumowanie

Przedstawione w referacie układy energooszczędne dają znaczne korzyści ekonomiczne, wynikające ze zmniejszenia zużycia energii elektrycznej potrzebnej do napędu sprężarek. Zastosowanie specjalnych zaworów energooszczędnych upraszcza strukturę układów pneumatycznych oraz zmniejsza zużycie powietrza.

Na zakończenie chciałbym zasygnalizować że prowadzimy w ITM-PW badania nad zastosowaniem układów energooszczędnych. Badania wpływu różnego rodzaju układów energooszczędnych na dynamikę ruchu siłowników będą dopiero prowadzone. Z tego powodu niemożliwe było przedstawienie wszystkich zalet tych układów oraz wskazanie wyczerpujących zasad ich doboru do napędów manipulatorów. Przedstawiono tylko zarys sposobu doboru i celu stosowania układów i zaworów energooszczędnych.

LITERATURA

[1] Szenajch W., Koprzywa J.:"Pneumatyczne energooszczędne układy napędowe" Sterowanie i napęd pneumatyczny, Styczeń-Luty 1988.

Recenzent: Prof.dr h.inż. Jerzy Cyklis
Wpłynęło do Redakcji do 30.04.1992 r.

Abstract:

The report presents some solutions of pneumatic energy-economical systems and valves. Energy-economical systems work according to the principle that air served for work-motion is under pressure indispensable to execute definite work and for lost-motion the air is servedunder such pressure only to make it possible to take off a piston ofthe cylinder to exit position. Savings of energy of compressed air in result of applying energy-economical systems may be estimated from 20% to 60% in depending on applied systems. In the report criteria forselection of these systems to apply in industry manipulators have been alsoelaborated. At the end three examples how to apply energy-economical systems are given and obtained economy effects are estimated.