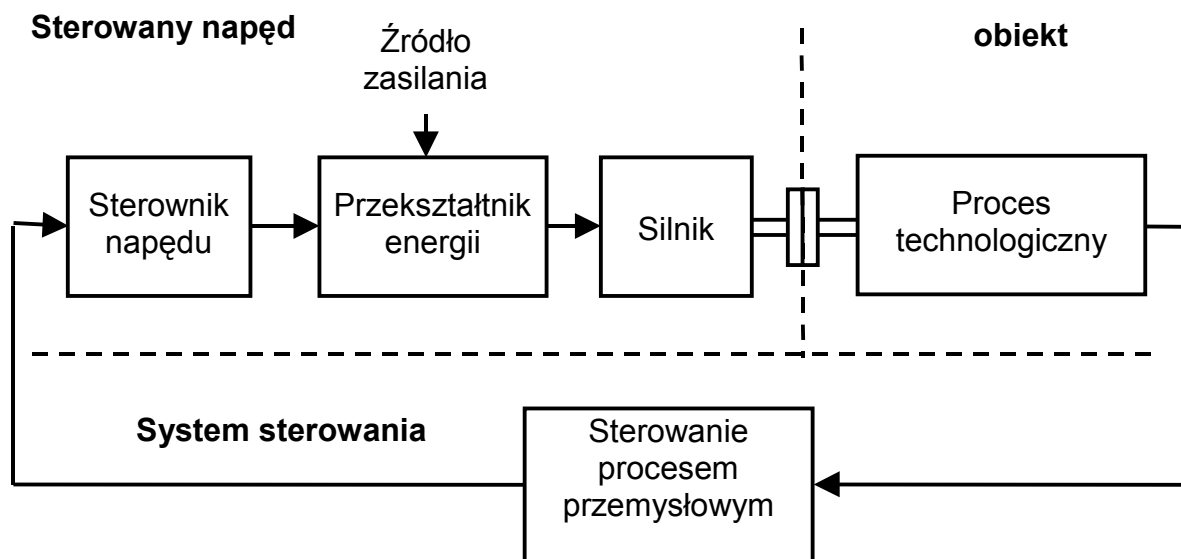


Napędy w urządzeniach automatyki

Podział układów sterowania napędami.

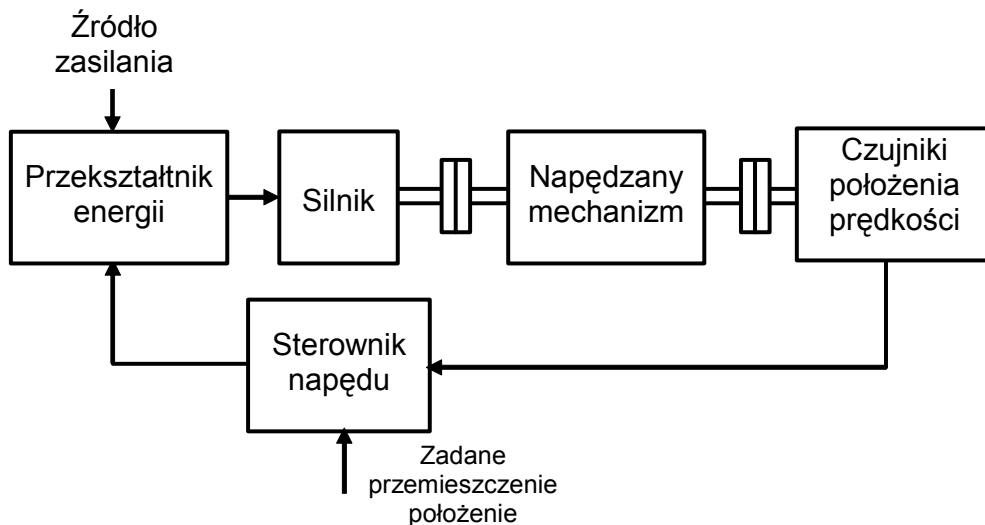
Układy sterowania napędami obejmują obecnie szeroki obszar mocy poczynając od kilku watów do tysięcy kilowatów. Jest to obszar pomiędzy precyzyjnym sterowaniem położenia w układach napędowych w robotyce, a regulacją przepływu w pompach wielkiej mocy. Wszędzie tam, gdzie szybkość i pozycja muszą być kontrolowane niezbędne jest zastosowanie urządzeń energoelektronicznych z odpowiednim sterowaniem jako interfejsu pomiędzy zasilaniem układu napędu, a samym silnikiem [Rys. 1]. Jest to wycinek ogólnego układu regulacji z uwypukleniem elementu wykonawczego.



Rys. 1. Napędy w układach regulacji.

Z punktu widzenia zasadniczych cech funkcjonalnych układów napędowych wyróżniamy dwie grupy:

- Układy nazywane *serwonapędami*, stosowane szczególnie w robotyce, gdzie najważniejsze jest precyzyjne sterowanie położeniem i prędkością (Rys. 2).



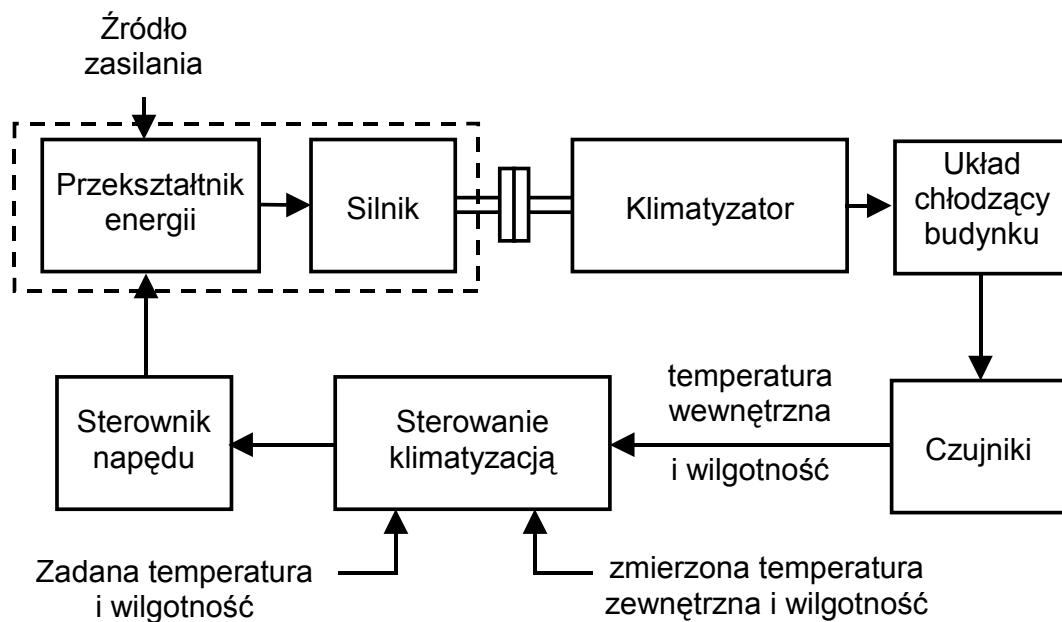
Rys. 2. Serwonapędy.

Napędy w urządzeniach automatyki

Serwonapędy wykorzystuje się do wielu procesów, w których istotne jest zapewnienie właściwych pozycji przyjmowanych przez mechanizmy np.:

- sterowanie posuwem detalu lub narzędzia w obrabiarkach sterowanych numerycznie
- szybkie i precyzyjne przesuwanie formy we wtryskarce, maszynie odlewniczej,
- cięcie lub perforowanie detali, materiałów w trakcie przemieszczania,
- utrzymywanie stałego naprężenia rozwijanego lub zwijanego materiału,
- montaż detali (np. dokręcanie śrub z określonym momentem siły),
- kompletacja, przenoszenie i układanie produktów, itp.

W wielu zastosowaniach, dokładność, czas odpowiedzi napędu na zmianę wielkości zadanej nie jest krytyczny. Wynika to ze zdecydowanie większych opóźnień w pętli regulacji (Rys. 3) niż opóźnienie wnoszone przez napęd. Stosowane są wówczas typowe układy napędów z falownikami regulującymi obroty. Na Rys. 3 podano przykład takiej pętli regulacji z napędami o regulowanej prędkości.



Rys. 3. Układ o regulowanej prędkości obrotowej w systemie klimatyzacji.

Typ silnika a metody sterowania napędami

Układy sterowania można podzielić na grupy wg kryterium sposobu sterowania określonego typu silnika. Są to układy do:

A. Silników prądu stałego:

- dwustanowa (włącz- wyłącz),
- regulacja ciągła (sterowanie liniowe),
- regulacja tyrystorowa (prostowniki sterowane),
- regulacja impulsowa (przetwornice DC/DC).

B. Silników indukcyjnych (prądu zmiennego, trójfazowe) asynchronicznych:

- układy regulujące kąt włączenia ,
- układy regulacji falownikowe.

C. Silników synchronicznych.

D. Silników prądu stałego z elektroniczną komutacją (bezkomutatorowe silniki prądu stałego).

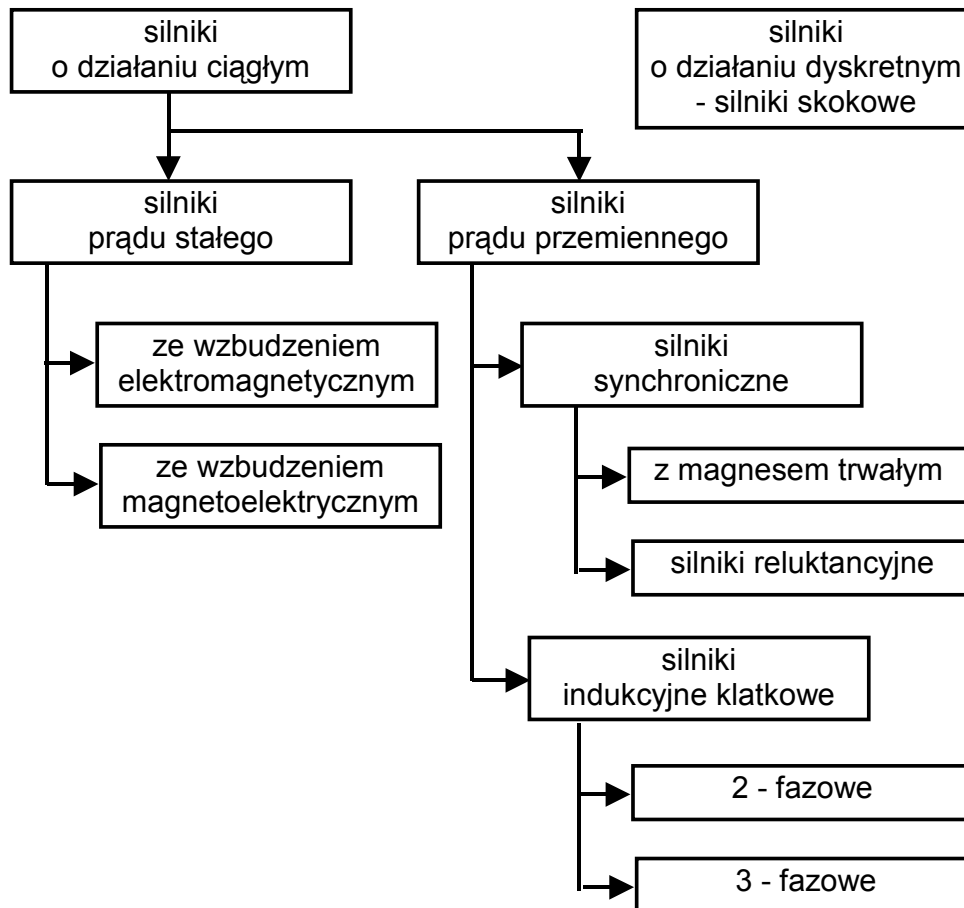
E. Silników prądu zmiennego (jednofazowe) komutatorowe:

- układy regulacji kąta włączenia,

- układy łączników elektronicznych.

F. Silniki skokowe

Klasyfikacja ta różni się nieco od pokazanego na Rys. 4 podziału układów napędowych opartego o typ silnika.

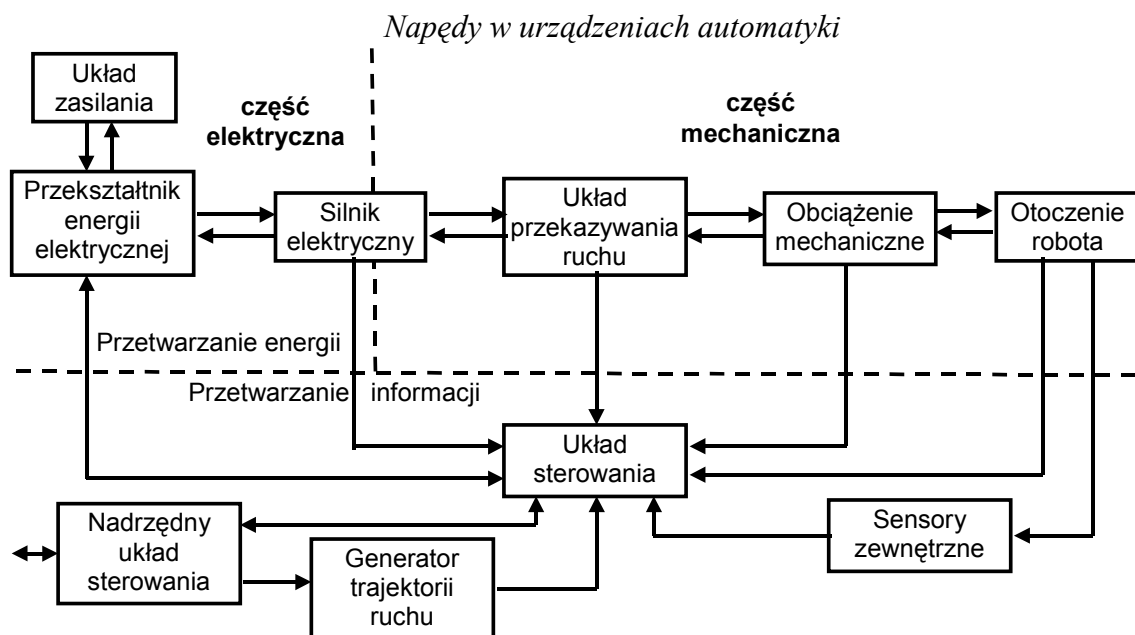


Rys. 4. Przykładowa klasyfikacja napędów - stosowane silniki.

Struktura systemów napędowych

We współczesnych systemach napędowych można wyróżnić dwa podsystemy (Rys. 5):

- przetwarzania energii - elektrycznej na mechaniczną,
- przetwarzanie informacji.



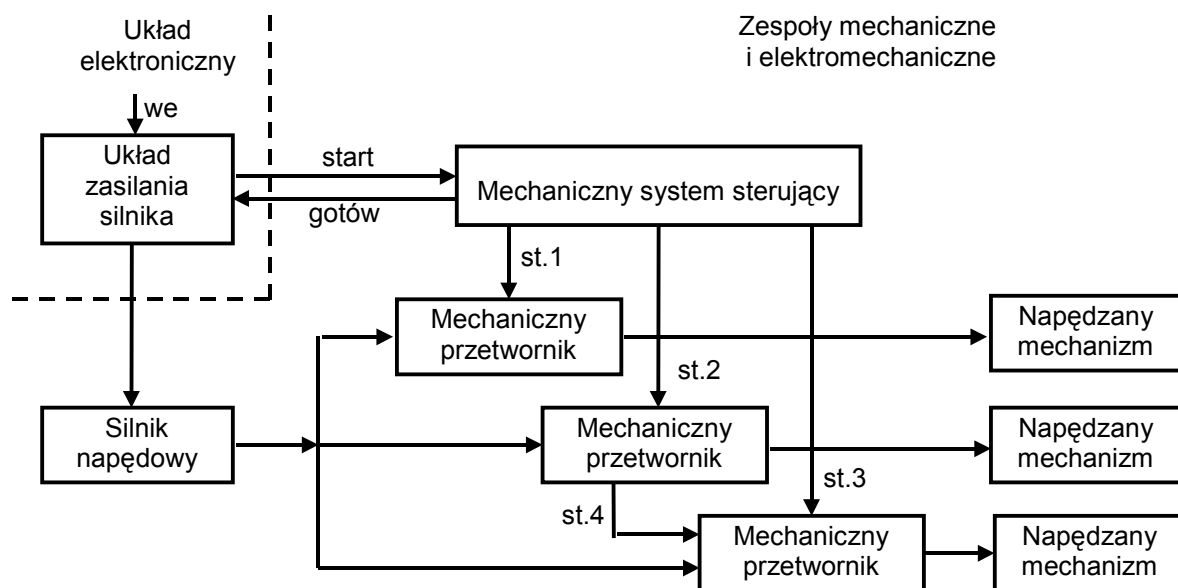
Rys. 5. Struktura napędu elektrycznego robotów.

Przetwarzanie energii elektrycznej na mechaniczną jest dwukierunkowe. Energia elektryczna jest zamieniana na energię mechaniczną (energia kinetyczna lub potencjalna). Przetwornikiem energii jest silnik. Przy hamowaniu np. energia mechaniczna zamieniana jest często na energię elektryczną.

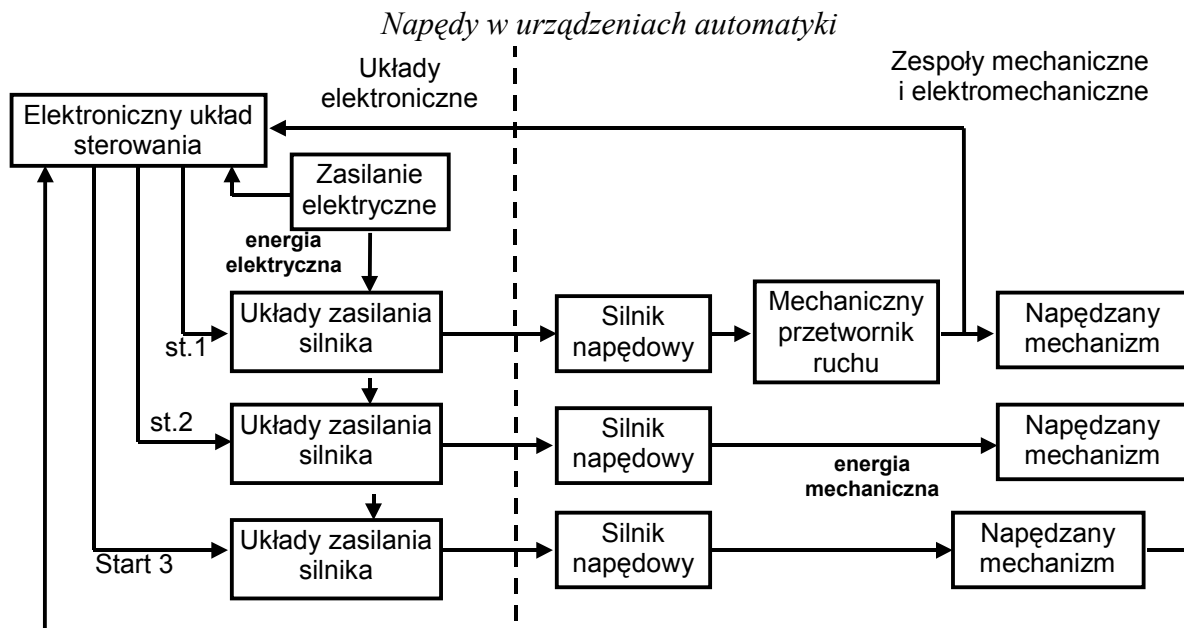
Układ sterowania wysyła do przekształtnika sygnały sterujące, a odbiera z przekształtnika informację sprzężenia zwrotnego (np. przez pomiar prądu, napięcia) o stanie pracy silnika (np. położenie, prędkość) i elementów półprzewodnikowych (np. przeciążenie).

Układy elektroniczne w napędach elektrycznych.

Rozwój elektroniki spowodował zastępowanie w konstrukcjach urządzeń złożonych zespołów mechanicznych układami elektronicznymi. W rozbudowanych urządzeniach mechanicznych zastępuje się napęd z jednym centralnym silnikiem (Rys. 6) stosowanym w dawnych maszynach, dawnych zakładach przemysłowych, napędem zdecentralizowanym (Rys. 7).



Rys. 6. Struktura napędu centralnego - najczęściej już **historia techniki**.



Rys. 7. Zdecentralizowany system napędowy - **współczesność**.

W tym systemie każdy napędzany mechanizm ma własny, „lokalny” silnik lub siłownik, a centralny układ sterujący (najczęściej mikroprocesorowy) ma za zadanie m.in. synchronizację współpracy napędów. Decentralizacja prowadzi do zmiany budowy urządzenia i jego cech charakterystycznych:

- powoduje wyeliminowanie lub znaczne zmniejszenie liczby zespołów transmisji i przetwarzania energii mechanicznej takich jak: wały napędowe, aktywatory, sprzęgła sterowane mechanicznie, mechanizmy zapadkowe, mechanizmy ruchu przerywanego, itd.;
- prowadzi do zastąpienia jednego stale pracującego silnika głównego, małymi silnikami i siłownikami lokalnymi o działaniu dyskretnym lub serwonapędami zasilanymi tylko na czas realizacji określonego zadania;
- zmniejszeniu ulega hałaśliwość urządzenia ze względu na uproszczenie mechanizmu, a równocześnie wzrasta sprawność energetyczna, gdyż napędy lokalne nie wymagają na ogół zasilania w stanie gotowości do pracy;
- możliwa jest optymalizacja każdego ze składowych elektromechanicznych układów napędowych tzn. dobór najwłaściwszego silnika lub siłownika do napędzanego mechanizmu i wybór optymalnych parametrów zasilania;
- zwiększa się trwałość i niezawodność napędów przez wyeliminowanie zużywających się części mechanicznych, wykorzystywanych poprzednio do transmisji energii, przetwarzania ruchu i sterowania;
- wzrasta podatność naprawcza na skutek uproszczenia budowy urządzenia i powstania możliwości szybkiej wymiany uszkodzonych zespołów napędowych.

Urządzenia zawierające zdecentralizowany system napędowy mogą być łatwo przystosowane do nowych funkcji, zmiany parametrów, często bez potrzeby jakiegokolwiek zmiany budowy (przez przeprogramowanie).

Przykład zdecentralizowanego napędu jest dobrą ilustracją zmian jakie dokonały się w urządzeniach napędowych pod wpływem rozwoju elektroniki.

Uwarunkowania wyboru konstrukcji napędu.

Zanim dokona się wyboru rozwiązania napędu do określonego zastosowania w automatyce należy wziąć pod uwagę:

A. Właściwości możliwych do zastosowania silników.

B. Zależności pomiędzy silnikiem a obciążeniem mechanicznym (mechaniczne) – ew. zastosowanie przetworników ruchu (przekładnie, śruby).

C. Oddziaływania pomiędzy przekształtnikiem elektrycznym a silnikiem (elektryczne) – możliwość odzyskiwania energii.

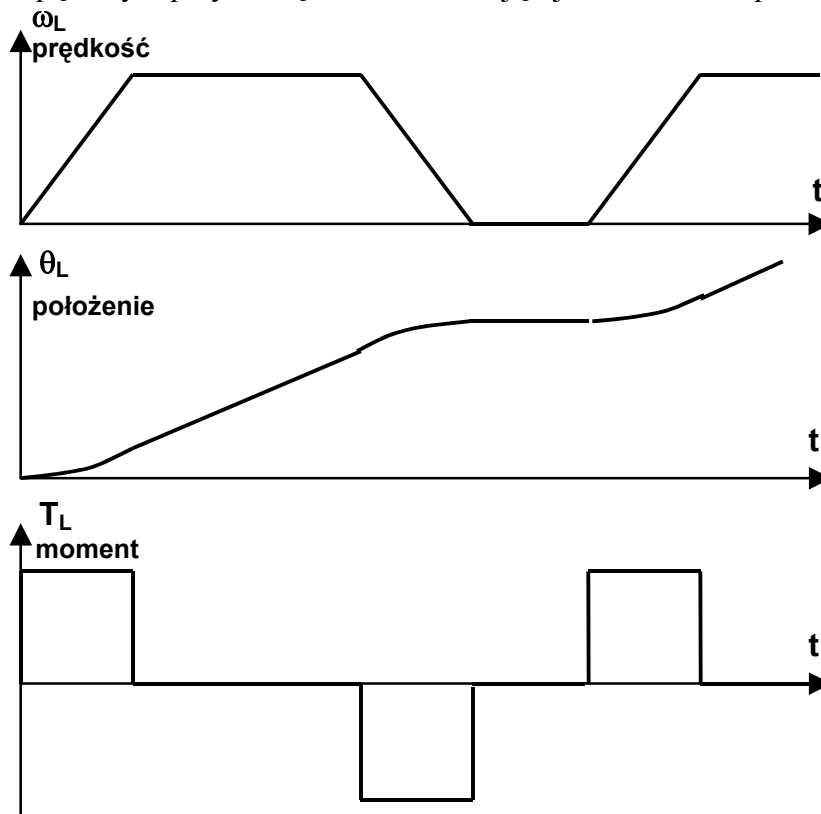
D. Typ sterowania wybranego silnika i stosowane zabezpieczenia (np. przeciążeniowe, prądowe).

E. Wybór przetworników położenia i prędkości do układów sterujących.

Oddziaływania pomiędzy silnikiem a obciążeniem.

Podstawowym kryterium wyboru elementów napędu jest znajomość parametrów obciążenia i samego elementu napędowego (moment obciążenia, tarcia, bezwładność) oraz ich zmienności w czasie i ich nieliniowości. Uwzględniamy też wymagania na dynamikę (maksymalna prędkość, zakres prędkości, przyspieszenia, kierunek ruchu). Z połączenia tych danych otrzymujemy (np. przez modelowanie) charakterystykę dynamiczną momentu.

Przykład współzależności pomiędzy momentem, prędkością i położeniem w układzie napędowym przy obciążeniu o dominującej bezwładności pokazano na Rys. 8.



Rys. 8. Zależność prędkości przemieszczenia i momentu napędu przy dominującym obciążeniu bezwładnościowym.

Przetworniki ruchu a dynamika układu silnik-obciążenie.

Zbliżone parametry obciążenia i silnika (optymalny moment, prędkości obrotowe, bezwładności) umożliwiają dołączenie obciążenia bezpośrednio do osi silnika. Gdy parametry silnika i obciążenia różnią się znacznie, niezbędne są odpowiednie mechanizmy dopasowujące ruch. Z ogromnej gamy urządzeń przekazywania ruchu dwa najpopularniejsze to: **mechanizm przekładniowy** i **przekładnia śrubowa**.

Do zmiany prędkości kątowej niezbędny jest często mechanizm przekładniowy.

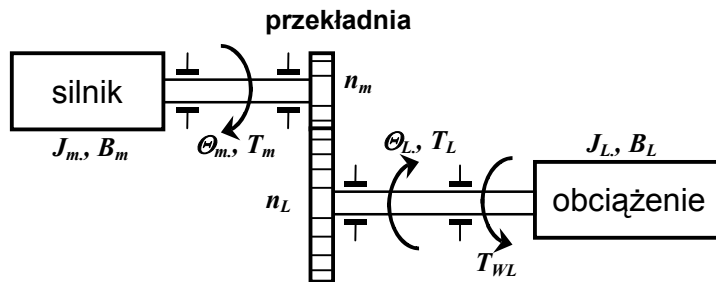
Napędy w urządzeniach automatyki

Zakładając sprawność 100% mechanizmu przekładniowego momenty T_m , T_L , (silnika, obciążenia), prędkości kątowe ω_m , ω_L , przemieszczenia kątowe θ_m , θ_L po obu stronach przekładni z rys.9. wyrażają się zależnością.

$$\frac{T_m}{T_L} = \frac{\omega_L}{\omega_m} = \frac{\theta_L}{\theta_m} = \frac{n_m}{n_L} = a \quad \omega = \dot{\theta}$$

n_m, n_L – ilość zębów

a – przełożenie



Rys. 9. Mechanizm przekładniowy.

W układzie z przekładnią dopasowującą parametry silnika do obciążenia wymagany moment elektromagnetyczny silnika T_{em} wynika z momentu obciążenia (siły) T_{WL} , przełożenia a , bezwładności J_m i J_L , tarcia B_m i B_L , wymaganego przyspieszenia $\dot{\omega}$.

$$T_{em} = \frac{\dot{\omega}_L}{a} (J_m + a^2 J_L) + a T_{WL} + \frac{\omega_L}{a} (B_m + a^2 B_L)$$

wprowadzając parametry równoważne

$$J_{eq} = J_m + a^2 J_L; \quad B_{eq} = B_m + a^2 B_L; \quad T_{weq} = a T_L$$

otrzymuje się równanie dynamiki całego zespołu

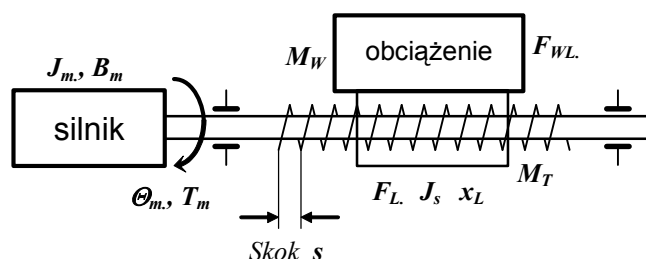
$$T_{em} = J_{eq} \dot{\omega}_m + B_{eq} \omega_m + T_{weq}$$

Zadanie: Wyprowadź powyższe zależności.

Przy zamianie ruchu obrotowego na liniowy musi być użyty mechanizm sprzęgający jest to najczęściej: mechanizm zębatkowy, mechanizm pasowy (ciągłowy), mechanizm śrubowy.

Dla **przekładni śrubowej** pokazanej na rys.10. i założonej 100% sprawności zależność siły F_L , momentu T_m , prędkości liniowej v_L , prędkości kątowej ω_m , przemieszczenia kątowego θ_m , przemieszczenia liniowego x_L od przełożenia pokazuje zależność

$$\frac{T_m}{F_L} = \frac{v_L}{\omega_m} = \frac{x_L}{\theta_m} = \frac{s}{2\pi} = a$$



Rys. 10. Przekładnia śrubowa.

Jerzy Kraśniewski

s – przełożenie wyrażone w m/obrot.

Podobnie jak dla przekładni zębatej można wymagania na moment elektromagnetyczny silnika T_{em} uzależnić od siły obciążenia F_{WL} i wymaganego przyspieszenia \dot{v}_L , a także bezwładności silnika i śruby J_m i J_s , masy stolika i obciążenia M_T i M_W

$$T_{em} = \frac{\dot{v}_L}{a} [J_m + J_s + a^2(M_T + M_W)] + aF_{WL}$$

Zadanie: Wyprowadź powyższą zależność.

Znając parametry układu napędowego wymienione dla obu przypadków dobieramy stosowny silnik i przekładnię. Ważne jest optymalne dobranie przekładni (a) z uwzględnieniem strat, a także i kosztów.