

# Maszyny robocze - ruch (motion)

Podnoszenie, opuszczenie – praca wciągarki - procesy  
produkcyjne –  
o regulowanej prędkości, **opory czynne i bierne**

Aby opracować sterowanie dźwigiem należy dobrze znać funkcjonowanie poszczególnych mechanizmów. Przykład – wciągarka żurawia budowlanego



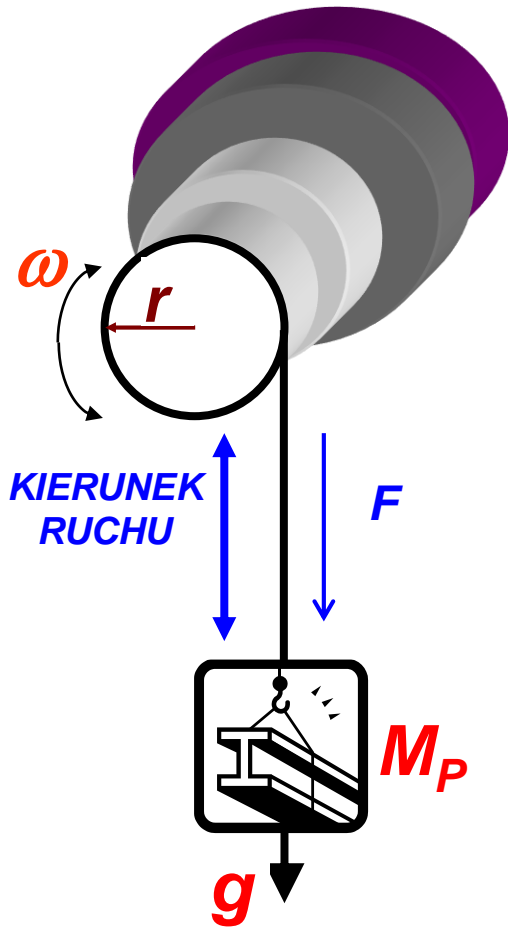
Czy można zastosować hamowanie z odzyskiem energii???

# Maszyny robocze - opory czynne

**opory czynne występują przy zmianie energii potencjalnej**

$$W_p = M_p g h - \text{energia potencjalna - zmiana } h$$

**Przykład oporów czynnych – ruch jednostajny wciągarki przemysłowej**



**Opory ruchu liniowego przy podnoszeniu masy  $M_p$ :**

$$\text{Siła } F = M_p g$$

$$|\text{Moment oporowy}| = |\text{moment napędowy}| \quad (T_d + T_l = 0)$$

**Moment oporowy na wale wirującego silnika:**

$$T = F r = M_p g r$$

**Moc w ruchu liniowym**

$$P = F V = M_p g V$$

**Moc w ruchu wirowym**

$$P = T \omega = M_p g r \omega$$

**$V = \text{const}$   
(prędkość ruchu)**

Opory czynne Siła, Moment, moc w stanie ustalonym wciągarki?

# Maszyny robocze - opory czynne

**CHARAKTERYSTYKA MECHANICZNA  $T = f(\omega)$  (stany ustalone)**

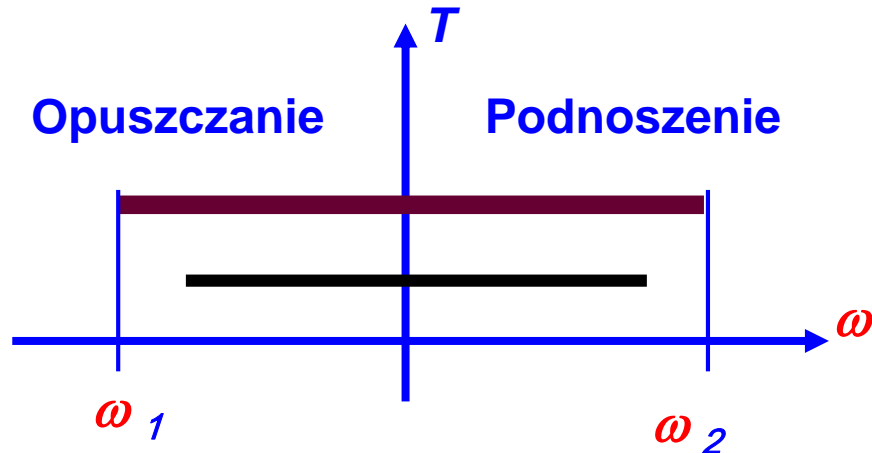
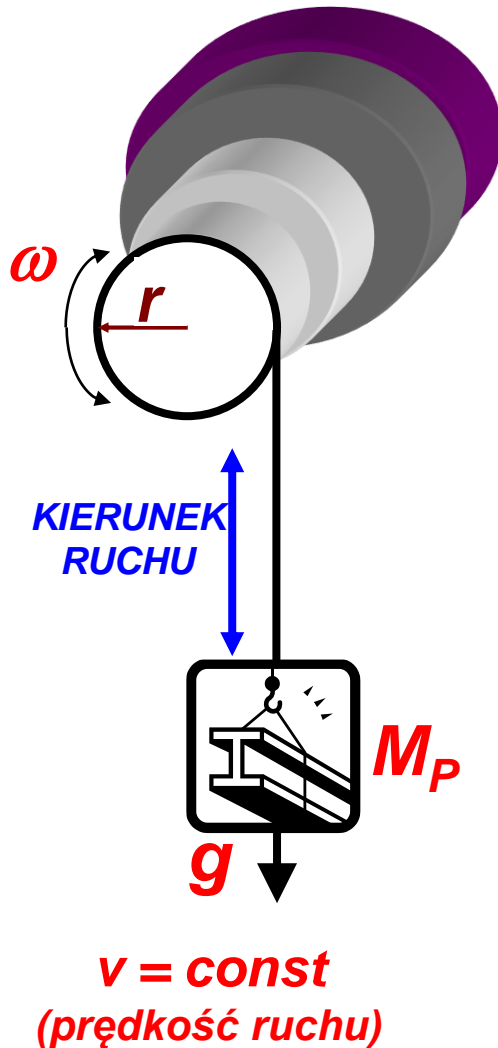
Charakterystyka mechaniczna maszyny roboczej:  
to zależność siły (momentu) od prędkości

Ruch jednostajny wciągarki przemysłowej

Siła oporów  $F = M_p g$

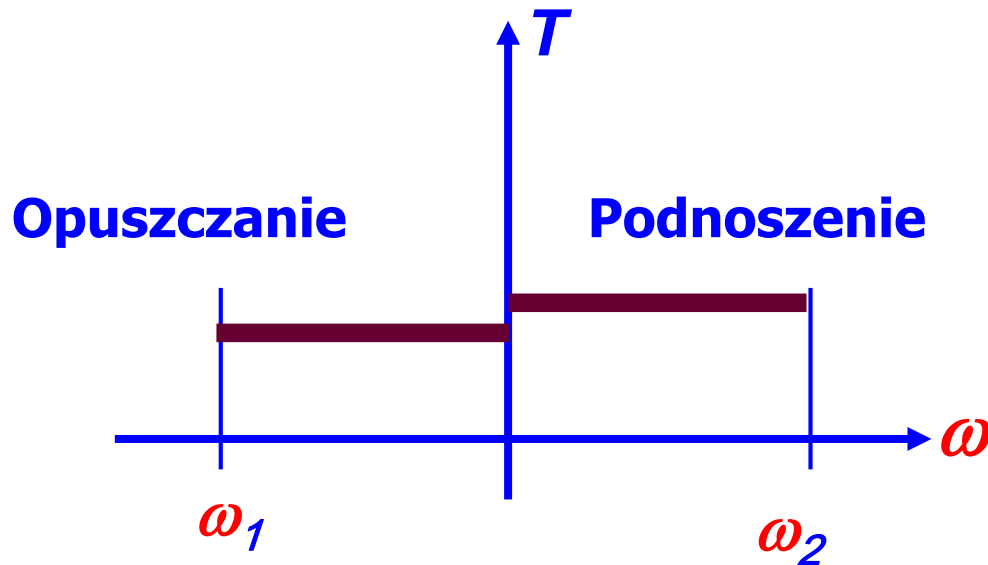
Moment oporowy:  $T = F r = M_p g r$

W tym przypadku siła i moment **nie zależą** od prędkości i dla stałych wartości  $M_p, g, r$



Uproszczona (wyidealizowana) charakterystyka mechaniczna

# Maszyny robocze - opory czynne

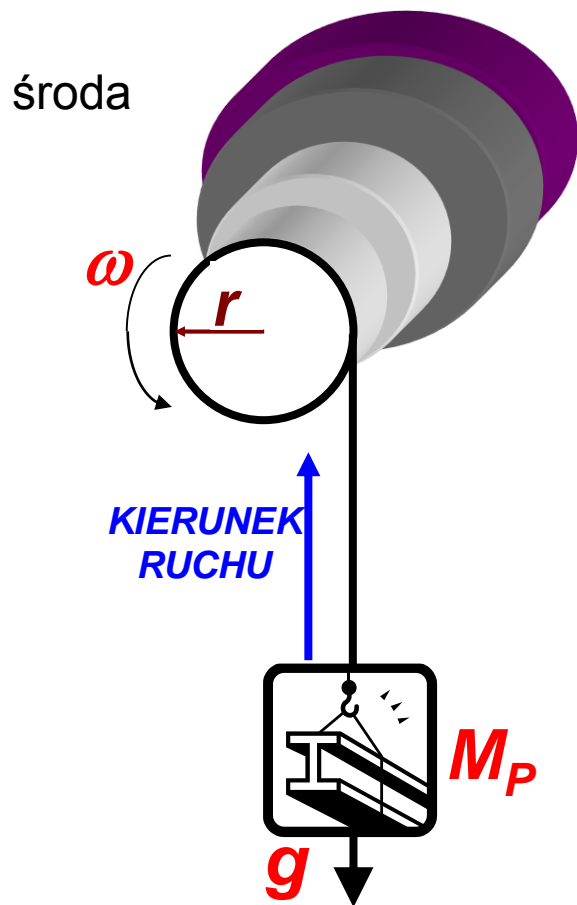


**Uproszczona charakterystyka mechaniczna wciągarki (mechanizmu podnoszenia)**

**- uwzględnienie straty tarcia (hamowanie „bierne”)**

# Maszyny robocze - opory czynne – moc oporów

opory czynne występują przy zmianie energii potencjalnej



$v = \text{const}$   
(prędkość ruchu)

## Ruch jednostajny wciągarki przemysłowej

**Podnoszenie** masy  $M_p$  - powiększanie energii potencjalnej - praca silnikowa – zamiana energii dostarczanej przez silnik na energię potencjalną:

**Umowa:** moc dostarczana do maszyny roboczej dla powiększenia energii potencjalnej jest **mocą dodatnią**

Podnoszenie - Moc w ruchu liniowym

$$P = F V = M_p g V > 0$$

Podnoszenie - Moc w ruchu wirowym

$$P = T \omega = M_p g r \omega > 0$$

# Maszyny robocze - opory czynne

## CHARAKTERYSTYKA MECHANICZNA

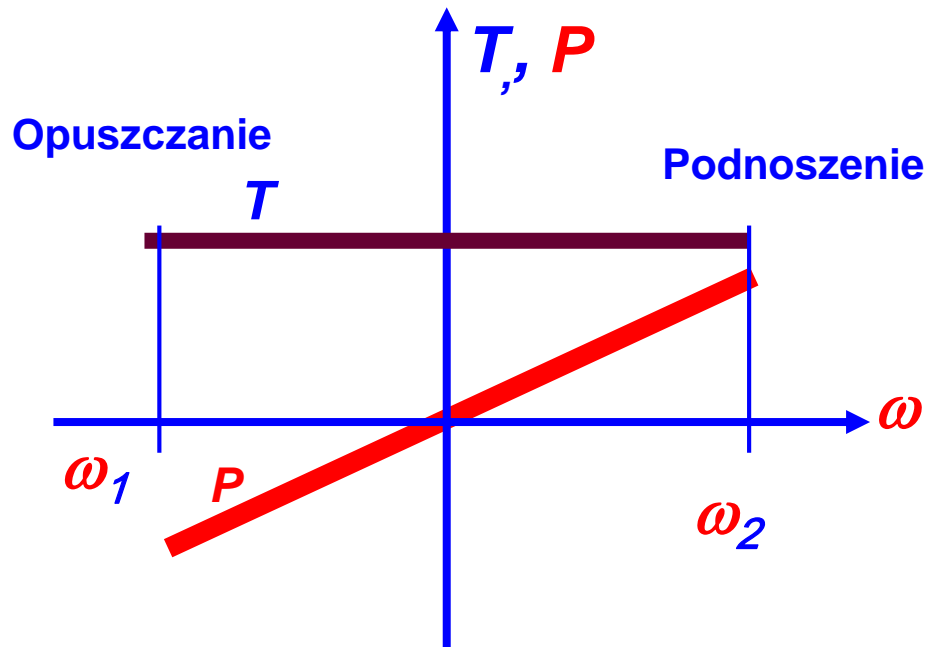
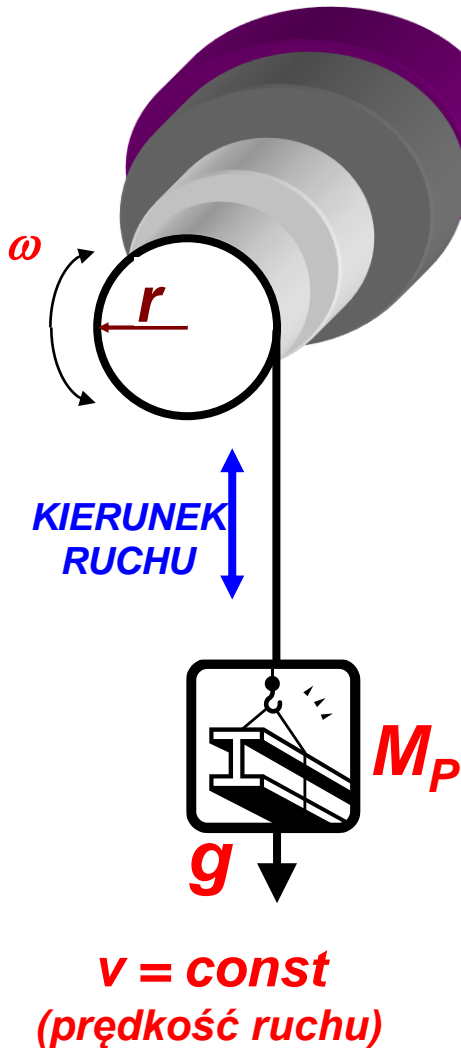
Ruch jednostajny wciągarki przemysłowej - **Moc**

Siła oporów  $F = M_p g$

Moment oporowy:  $T = F r = M_p g r$

Moc w ruchu liniowym:  $P = F V = M_p g V$

Moc w ruchu wirowym:  $P = T \omega = M_p g r \omega$



Uproszczona (wyidealizowana) charakterystyka mechaniczna<sup>11</sup>

# Maszyny robocze - opory bierne

opory bierne, występujące przy zmianie energii kinetycznej, to siły inercyjne  $W_k = M_p V^2 / 2 + J \omega^2 / 2$

dla  $M_p = \text{const}$ ,  $J = \text{const}$

Opory bierne ruchu liniowego masy  $M_p$  -

Siła  $F = M_p (dV/dt)$

Opory bierne ruchu wirowego masy o momencie bezwładności  $J$

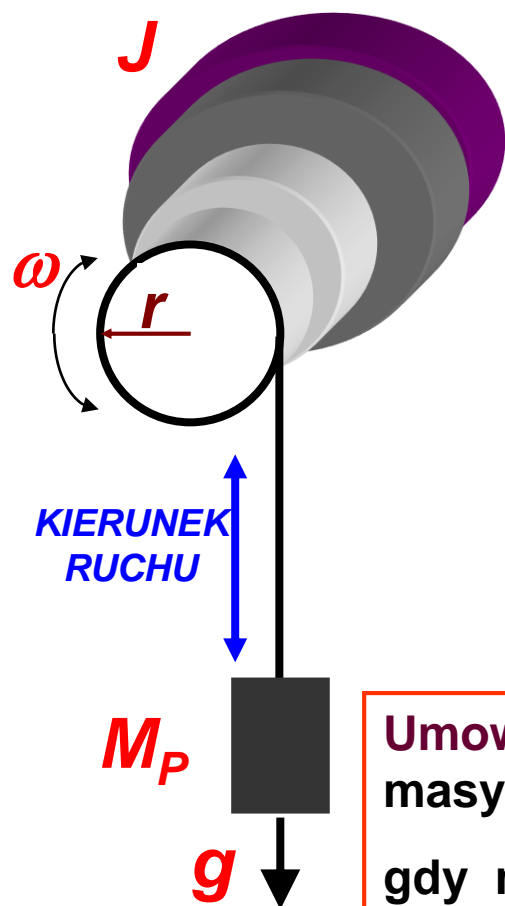
Moment  $T = J (d\omega/dt)$

Moc dla pokonania biernych oporów ruchu

$P = M_p V (dV/dt) + J \omega (d\omega/dt)$

**Umowa:** gdy dostarczana moc powiększa energię kinetyczną masy to jest to moc dodatnia – (praca silnikowa napędu)

gdy moc zmniejsza energię kinetyczną masy to jest to moc ujemna – (np. praca hamowania generatorowego napędu)



G14  
03-



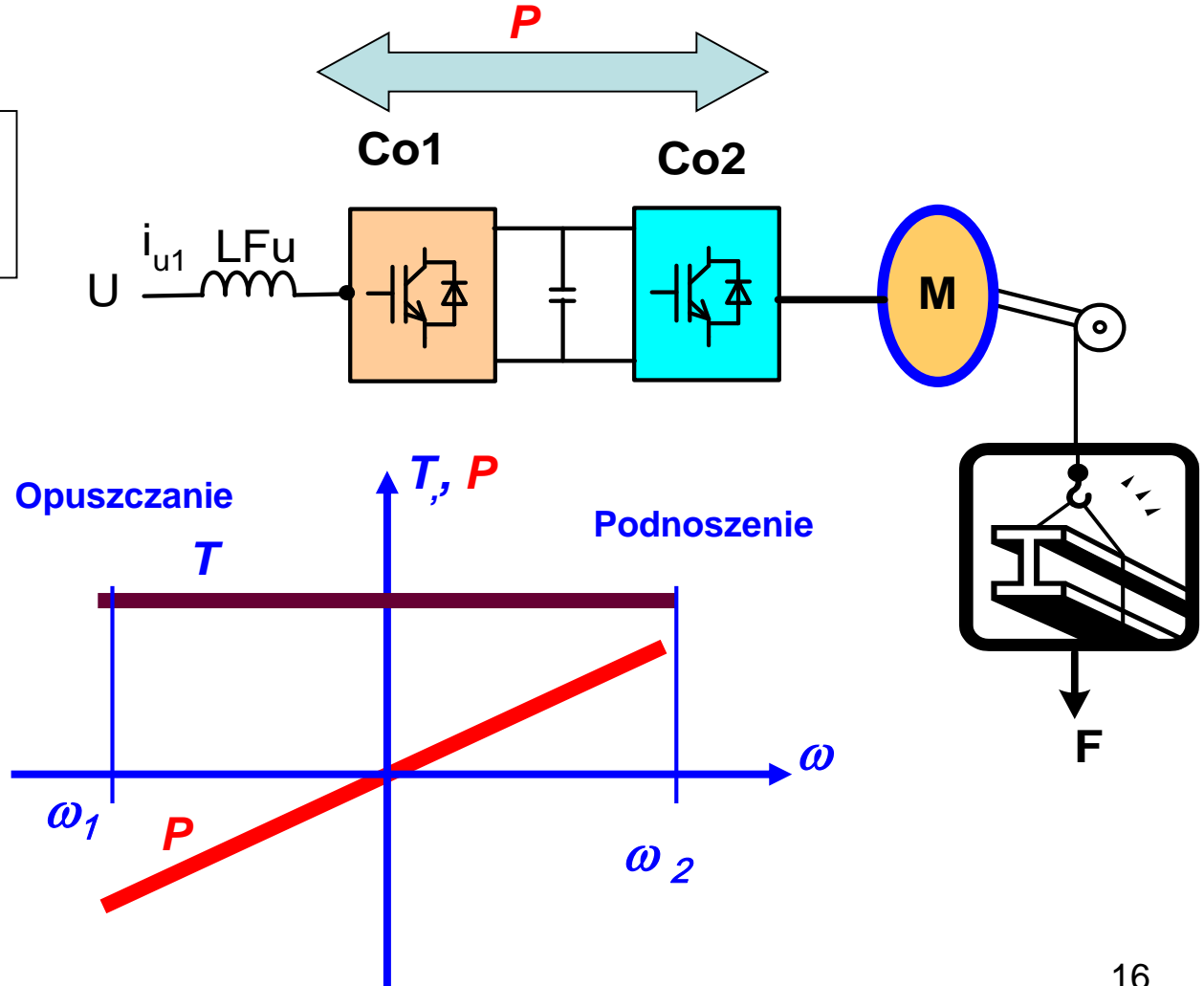
# Charakterystyki mechaniczne i moc - a układ zasilania wciągarki

$$P_t = M_p g V + M_p V (dV/dt) + J\omega (d\omega/dt)$$

$$P_{Ma} = P_t / \eta$$

**Moc z sieci**

$\eta$  - sprawność silnika i przekształtnika



Charakterystyki **statyczne** nie uwzględniono oporów biernych

G10

## Przykład obliczenia maksymalnej mocy wciągarki

$$P_t = M_p g V + M_p V (dV/dt) + J\omega (d\omega/dt)$$

Dane

$$M_p = 1000\text{kg}, V = 3\text{m/s}, dv/dt = 1\text{m/s}^2, J = 0.5 \text{ kgm}^2, \omega = 100\text{rad/s} \\ d\omega/dt = 10\text{rad/s}$$

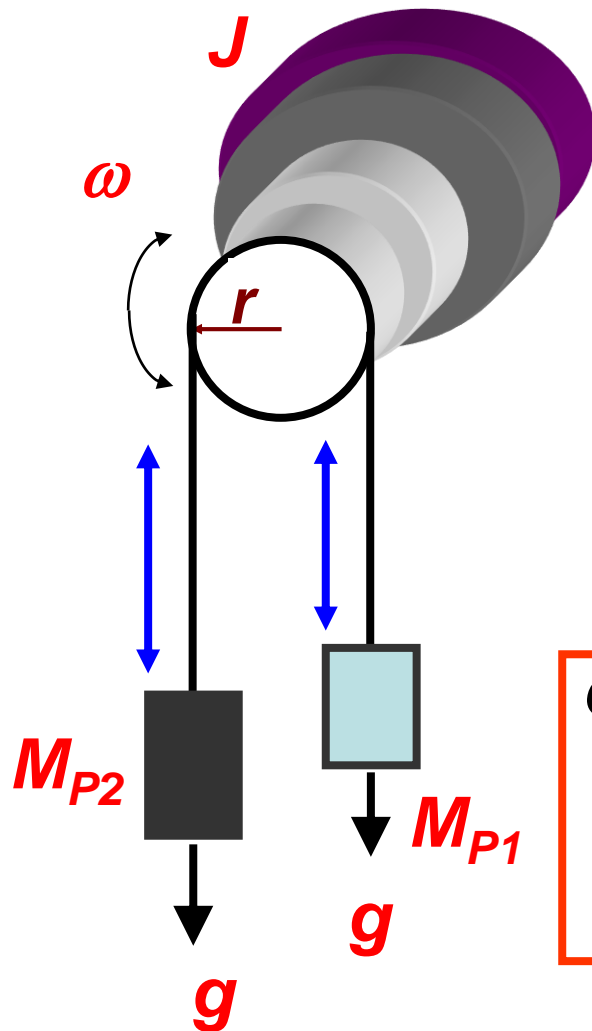
$$P_t = 1000 \cdot 9.81 \cdot 3 + 1000 \cdot 3 \cdot 1 + 0.5 \cdot 100 \cdot 10 = 29\,430 + 3000 + 500 = 32\,930 \text{ W}$$

Główna moc jest wymagana przez obciążenie oporami czynnymi!!!  
(niewielka bezwładność elementów wirujących)

Identyfikowano układ o niewielkich przyspieszeniach i niewielkim momencie bezwładności

Wyznacz moc oporów  
wciągarki?

# Maszyny robocze - redukcja oporów czynnych



Opory czynne ruchu

$$F = (M_{p2} - M_{p1}) g$$

Opory bierne ruchu liniowego mas -

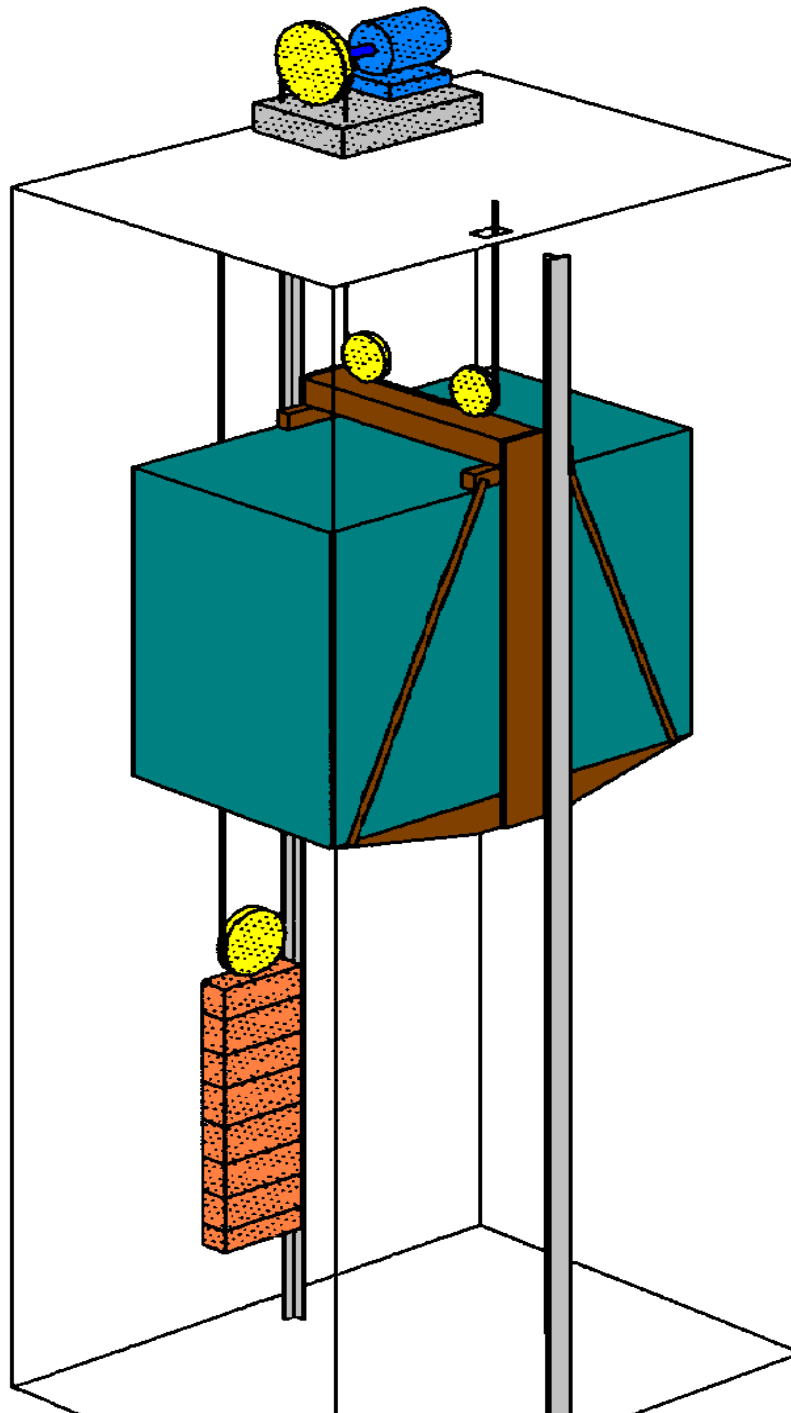
$$F = (M_{p2} + M_{p1}) dV/dt$$

opory ruchu wirowego masy o momencie bezwładności  $J$

$$T = J (d\omega/dt)$$

*Opory czynne i bierne - moc*

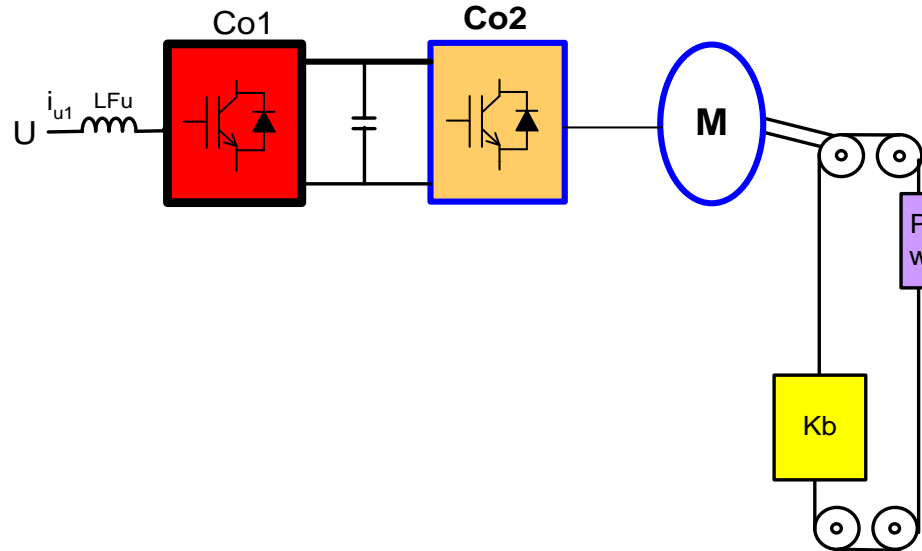
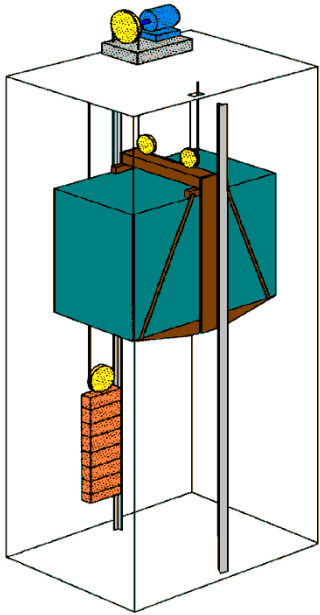
$$P = (M_{p2} - M_{p1}) g V + (M_{p2} + M_{p1}) V (dV/dt) + J\omega (d\omega/dt)$$



## **Dźwig osobowy z przeciwwagą**

(Nowoczesny niewielki  
silnik jest umieszczony  
na dachu kabiny lub w  
szybie)

# Moc dźwigu – przykład obliczeń



Kabina  $M_{p1}=1000\text{kg}$ , Przeciwwaga  $M_{p2}=1200\text{kg}$ ,  $V = 3\text{m/s}$ ,  $dv/dt = 1\text{m/s}^2$ ,  
 $J = 0.5 \text{ kgm}^2$ ,  $\omega = 100\text{rad/s}$ ,  $d\omega/dt = 10\text{rad/s}^2$

$$P = (M_{p1} - M_{p2}) g V + (M_{p2} + M_{p1}) V (dV/dt) + J \omega (d\omega/dt)$$

Kabina pusta podnoszenie

$$P = (1000 - 1200)9.81 \cdot 3 + (1200 + 1000) 3 \cdot 1 + 0.5 \cdot 100 \cdot 10 = -5886 + 6600 + 500 = \mathbf{1\ 214\ W}$$

Pasażerowie w kabinie 250 kg podnoszenie

$$P = (1250 - 1200) \cdot 9.81 \cdot 3 + (1200 + \mathbf{1250}) 3 \cdot 1 + 0.5 \cdot 100 \cdot 10 = 1471 + 7350 + 500 = \mathbf{7851\ W}$$

Konstrukcja bez przeciwwagi ładunkiem 250kg

$$P = 1250 \cdot 9.81 \cdot 3 + 1250 \cdot 3 \cdot 1 + 0.5 \cdot 100 \cdot 10 = 36\ 787 + 3750 + 500 = \mathbf{41\ 037\ W}$$

# Maszyny robocze - **Zaawansowane** techniki dźwigów osobowych

**Zaawansowane techniki w zakresie:**

**inteligentnego sterowania ruchem dźwigów  
osobowych**

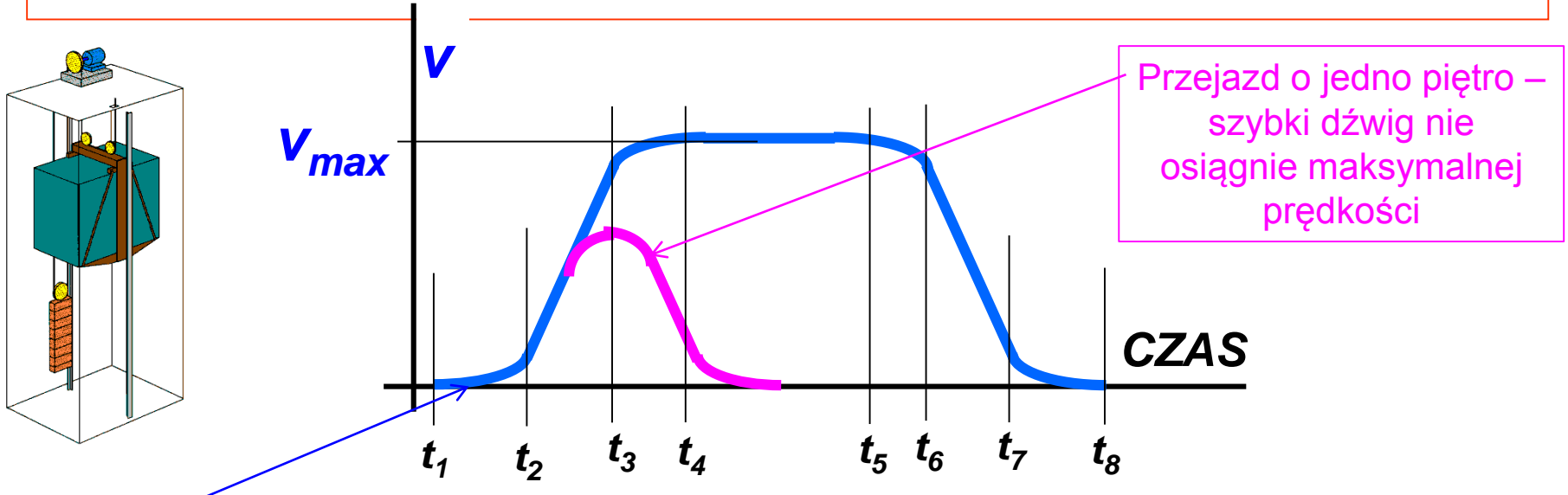
**czyli dowóz największej liczby pasażerów w  
najkrótszym czasie –**

**wymaganie dużej szybkości ruchu kabiny z  
uwzględnieniem intensywnego hamowania z kontrolą  
zrywu – (komfort jazdy jest wymuszony przez  
wrażliwość człowieka)**

**i krótkiego czasu poziomowania**

# Czas przejazdu dźwigu zależy od rodzaju napędu i systemu sterowania

## Idealizowany ruch kabiny dźwigu osobowego



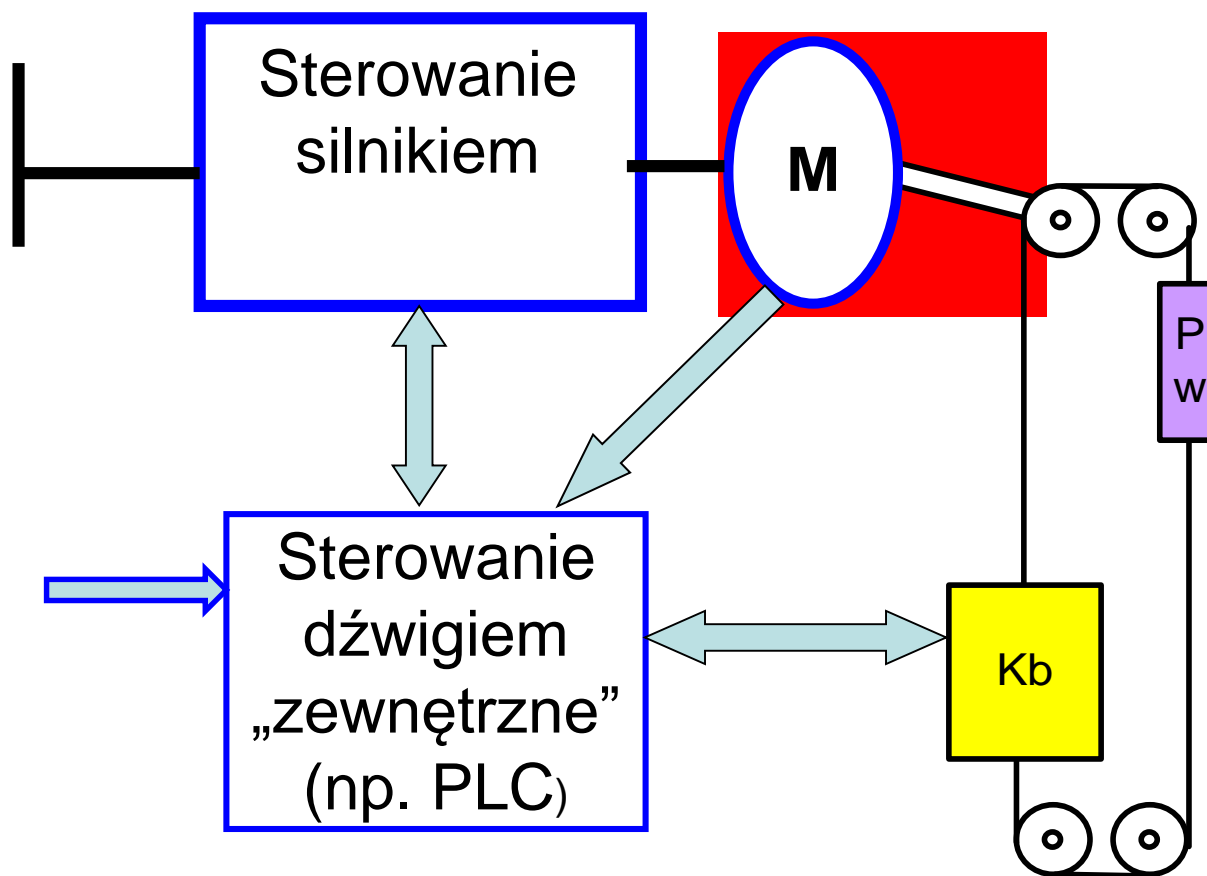
Łagodny start  $t_1$ - $t_2$  (ograniczenie zrywu  $da/dt$ ,  $a = dv/dt$ ),  $t_2$ - $t_3$  przyspieszenie stałe  $t_3$ - $t_4$  łagodne zmniejszanie przyspieszenia

Szybki przejazd  $t_4$ - $t_5$ , początek hamowania – łagodny wzrost przyspieszenia ujemnego  $t_5$ - $t_6$ ,  $t_6$ - $t_7$  hamowanie ze stałym opóźnieniem

Łagodne zmniejszanie hamowania i zatrzymanie  $t_7$ - $t_8$  z bardzo dokładnym **poziomowaniem** kabiny

# Schemat sterowania dźwigiem

380/220V 50Hz



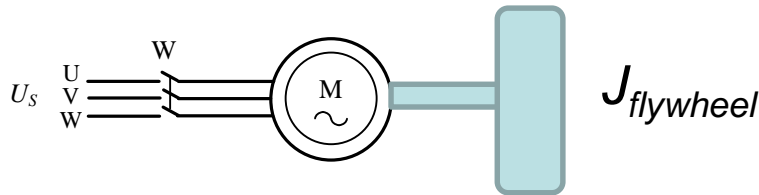




# Układy napędowe dźwigu

## 1. Silnik indukcyjny załączany bezpośrednio do sieci.

Prosty układ bez aktywnej kontroli stanów przejściowych – **ograniczenie przyspieszeń metodą dużego momentu bezwładności (historia techniki)**

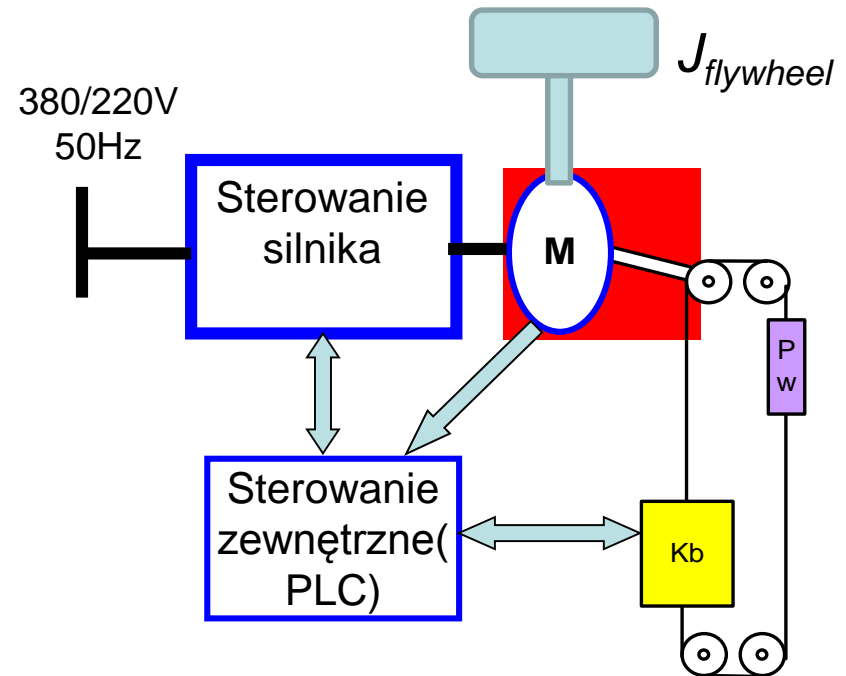


$$d\omega(t)/dt = [T_d(t) + T_l(t)] / J_{to}$$

$$J_{to} = J_{motor} + J_{flywheel}$$

Duży moment bezwładności wydłuża czas rozruchu

- **duży prąd w długim czasie**
- specjalna konstrukcja silnika



Wykorzystanie klatkowego silnika indukcyjnego dwubiegowego do napędu dźwigu osobowego:

Silnik posiada 2 biegi:

Bieg wolny: połączenie uzwojeń realizujące dużą liczbę biegunów

Bieg szybki: połączenie uzwojeń stojana realizujące małą liczbę biegunów

$$n = (f \cdot 60) / (p/2)$$

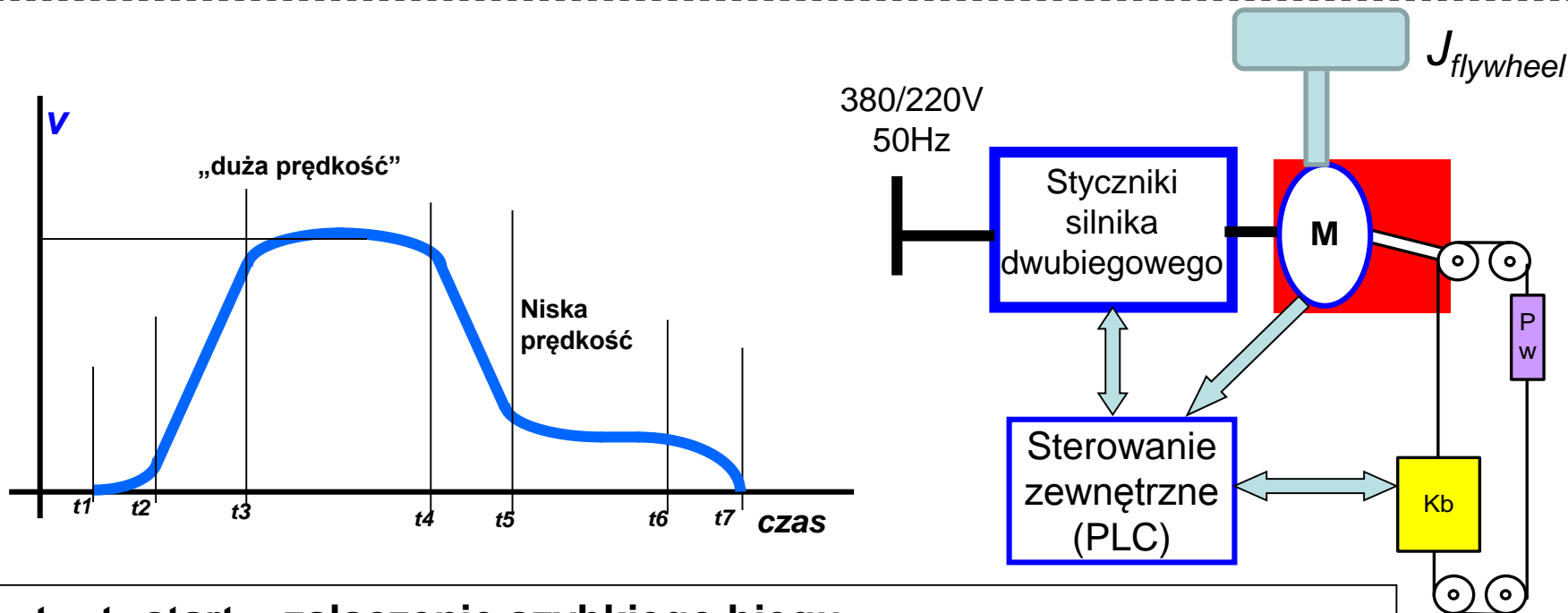
Prędkość obrotowa silnika

f – częstotliwość napięcia zasilającego stojan

P – liczba biegunów

W epoce mechanizacji silnik dwubiegowy wykorzystano do napędu dźwigów osobowych w wysokich budynkach np. 11 pięter

## 2. Zastosowanie silnika indukcyjnego dwubiegowego w napędzie dźwigu osobowego (Historia techniki? – do dziś w eksploatacji!)



$t_1$ – $t_2$ – $t_3$  start – załączenie szybkiego biegu

$t_3$  –  $t_4$  szybki przejazd – praca na szybkim biegu

$t_4$ – $t_5$  hamowanie generatorowe – załączenie wolnego biegu

$t_5$ – $t_6$  – przejazd z wolną prędkością - wolny bieg – (strata czasu?)

$t_6$ – $t_7$  hamowanie mechaniczne

Duża liczba budynków wciąż ma w całym świecie takie napędy?

# „Specjalny tani” silnik dwubiegowy

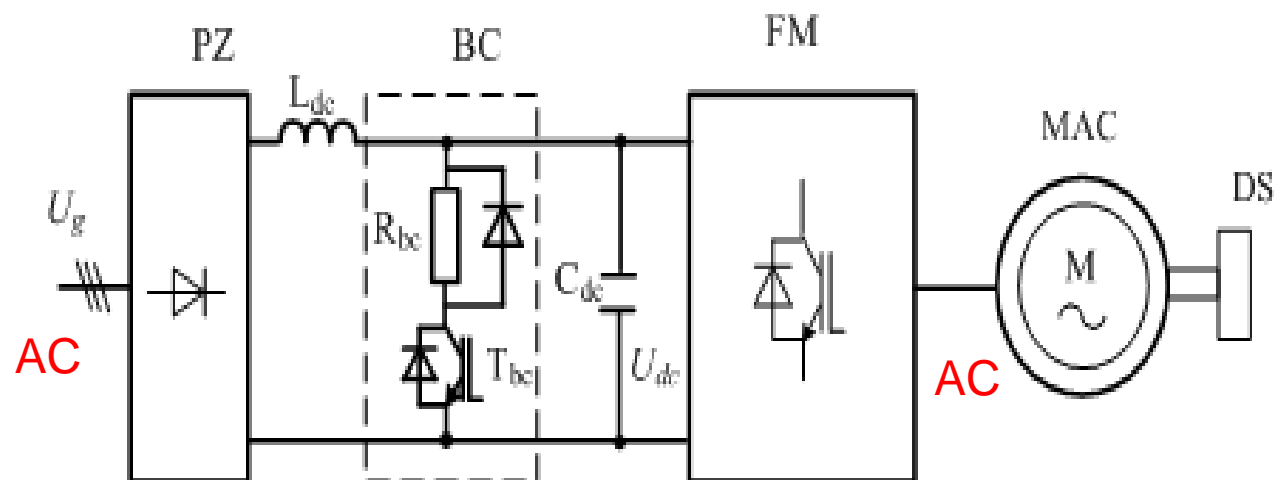


Dodatkowe  
koło  
zamacowe  
– „regulator  
dynamiki”

**Wielki moment bezwładności dla zmniejszenia przyspieszenia – Długi rozruch – z dużym prądem – duże straty – budowa silnika przystosowana do wielkich strat energii**

**(tysiące domów w Polsce jest wyposażonych w dźwigi osobowe z takim silnikiem dwubiegowym!!! 5 krotnie większa masa)**

### 3. Napęd dźwigu silnikiem prądu zmiennego sterowany przekształtnikiem tranzystorowym



PZ – prostownik diodowy

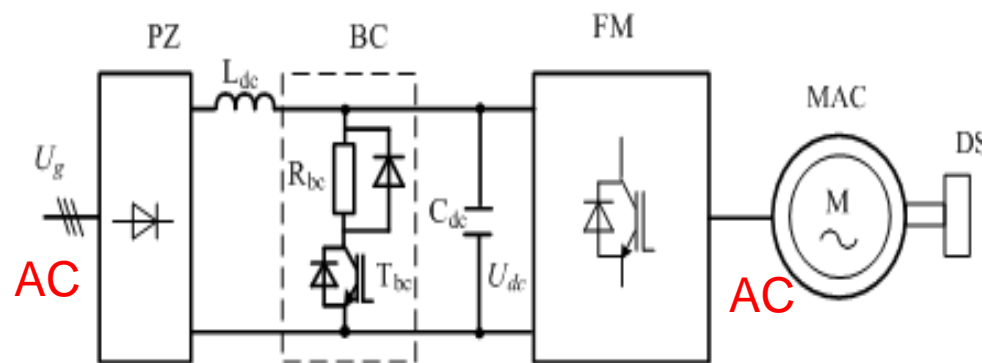
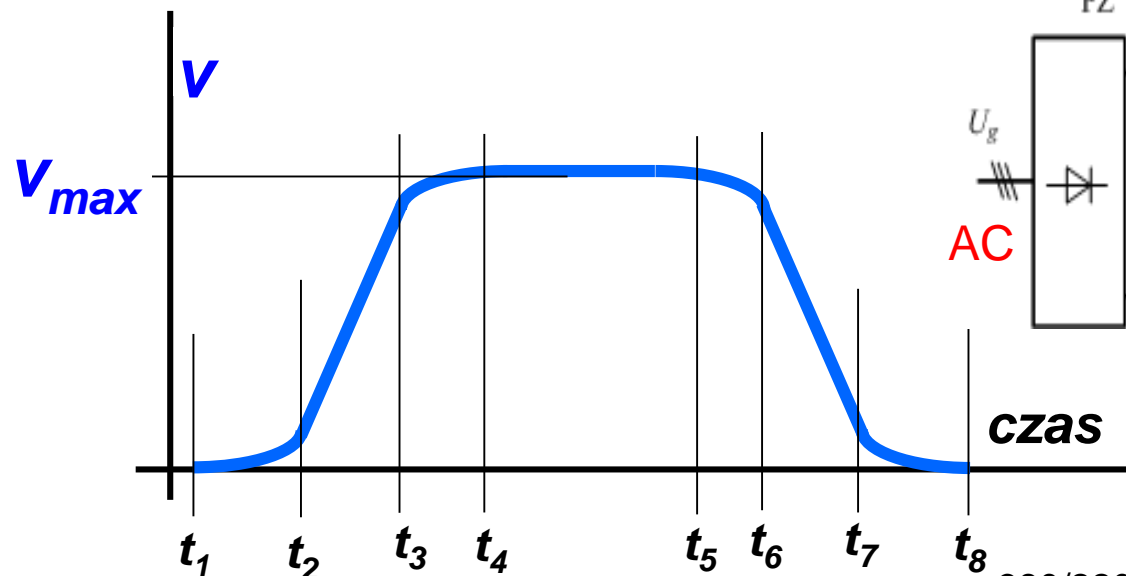
BC "Brake chopper"

FM – przekształtnik  
tranzystorowy sterujący  
pracą silnika

Przekształtnik z pośrednim obwodem napięcia stałego hamowanie generatorowe, bez zwrotu energii do źródła (sieci) – wytracanie energii na rezystorze  $R_{bc}$  – układ odporny na zakłócenia w sieci – np. krótkie zaniki napięcia

Kontrolowane hamowanie generatorowe daje możliwość dokładnego poziomowania a zwykle sumaryczne straty energii spowodowane brakiem zwrotu do sieci są niewielkie

### 3. Nowoczesny napęd dźwigu silnikiem prądu zmiennego sterowany przekształtnikiem tranzystorowym



Przekształtnik z pośrednim obwodem napięcia stałego BC "Brake chopper"

$t_1 - t_4 - t_5$  programowany start i przejazd

$t_5 - t_8$  w pełni kontrolowane hamowanie generatorowe i łagodne zatrzymanie

