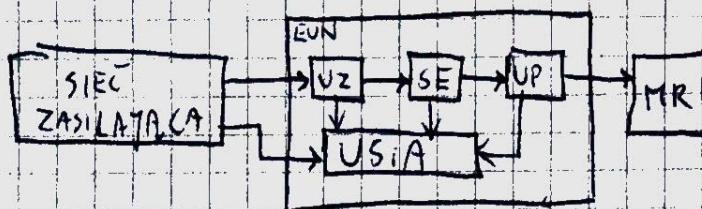


NAPEDE ELEKTRYCZNY

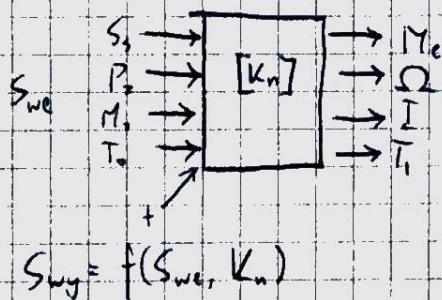
I: WSTĘP

NAPEDE ELEKTRYCZNY - zespół połączonych ze sobą i oddziałyujących wzajemnie elementów przetwarzających energię elektryczną w procesie technologiczny



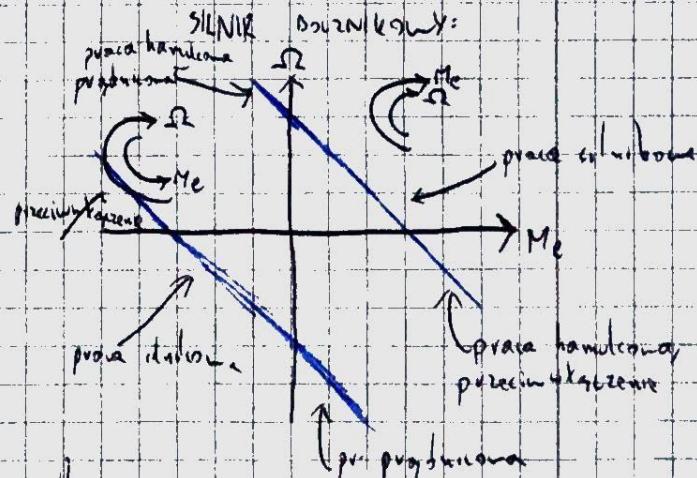
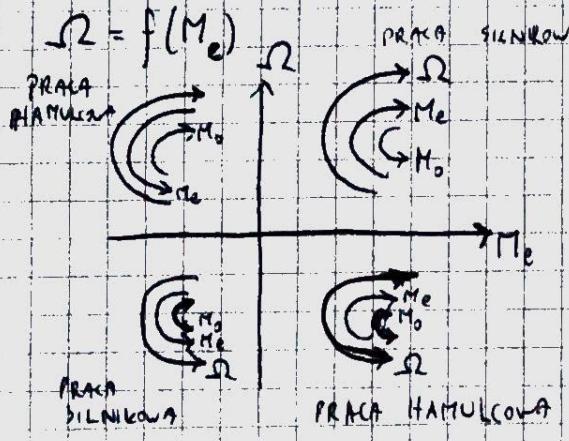
UP - Urządzenie Pompowe (pomp. mechaniczne)
 SE - silnik elektryczny
 UZ - układ zasilający
 MR - maszyna robota
 USIA - UZ silnika sterowana i automatyczna

CW-KI MASZYNNYCH ELEKTRYCZNYCH



S_{we} - sygnal sterujący
 P_2 - param. elektr. lini. zasilającej
 M_0 - moment zewn. oporowy
 Ω - temp. obrotowa
 t - czas
 M_e - moment siłek
 Ω - prędk. obrotowa
 I - prądy
 T_e - temp. elem. układu

PODSTAWOWE ZAŁEŻNOŚCI:



WYNIÓSEK: Gdy $\Omega > \Omega_0$: praca przelotowa
 Gdy $\Omega < \Omega_0$: praca hamulcowa z przesileniem

SZTYWNOSC CHARAKTERYSTYCZNA:

$$\epsilon = \frac{dM_e}{d\Omega} \rightarrow \text{zmiana momentu przy zmianie prędkości}$$

DEFINICJA: stopień prostoty momentu ΔM wynikającego z wykresu momentu obrotowego dla prędkości tej prędkości $\Delta \Omega$

STABILNOSC PRACY: $\epsilon < 0$

CHAR. IDEALNE SZTYWNA: $\epsilon \neq -\infty$ (wyst. momentu, bieg ustal. Ω_0) 1

CH-KI MASZYN. CD

CH-KA NATURALNA - ch-ka wyzaczona przy normalnym ukladem polskich silnikow zasilania. U zmniejszenia, brak istotnych elementow w obwodzie.

CH-KA SZTUCZNA - uklad ukladu z w. warunkiem jest niepelniany.

MOMENTY OPOROWE CZYNNIE - zmiana energii potencjalnej mechanicznej napędzanej, np. przemieszczenie się masz w polu grawitacyjnym

- zawiesze ten sam zwrot, niezależnie od kierunku ruchu,
- prędkość do zwrotu pobrania energii potencjalnej
(czyli grawitacji, wiatru, sile zanoru działa w dół)

MOM. OPOROWE BIERNE - zmiana energii kinetycznej mechanizmu, związana z silami bezwładności, na ogólnie skierowane przeciwko do kierunku ruchu; np. moment tarcia.

RÓWNAŃIE MOMENTU OPORANEGO

$$M_o = M_{ot} + (M_{oN} - M_{oR}) \left(\frac{\Omega}{\omega_0} \right)^p \cdot (M_{on} + M_{or}) \left(\frac{g}{g_0} \right)^q$$

gr. I → mom. oporowy staticzny, np. tyglaki, wałki

gr. II → mom. oporowy liniowy, rzedko w praktyce

gr. III → mom. oporowy kubiczny, char. wentylatorów → silny obciążenie wentylatory, sprężarki, silny obciążenie

gr. IV → mom. odw. proporcionalny, np. nowipalki

RÓWNAŃIE RUCHU UKŁ. NAP:

$$M_e - M_o = J \frac{d\Omega}{dt} = M_d$$

M_d - moment dynamiczny

STANY PRACY:

• USTALONY $\rightarrow \frac{d\Omega}{dt} = 0$, prędkość $\Omega = \text{const}$ $M_d = 0$

• NIEUSTALONY (DYNAMICZNY) $\Omega \neq \text{const}$

UKŁAD NAPĘDOWY JEST STABILNY gdy zakresnie stanu rynagii wykryje powstanie momentu tarczycego do sprawiedlenia ukladu poruszajacego sie rynagi

STANY NIEUSTALONE:

• przytrzymuj: zakresnia w nocy awarie, celne drążenie itd. sterowaczącą, rozwój, ratownictwo, hamowanie, nowot. regulacja Ω , regulacja M_d

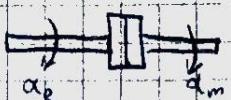
MOMENT ZAMACHOWY: $GD^2 = g_m (2r)^2 = 4Jg \rightarrow J = \frac{GD^2}{4g}$ [

ZAST. MOMENT BEZWŁADNOŚCI: suma momentów po uwzględnieniu wszyskich przekładni + strata na instal.

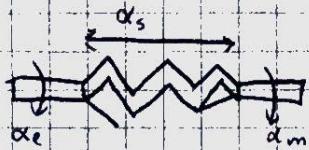
ZAST. MONT. OPOROWY suma momentów oporowych po uwzględnieniu wszystkich przekładni i strat na nich (z zasady zachowania energii)

POLAŻENIA SILNIKÓW Z MASYNA ROBOTA

- POLAŻENIE SZTYWNE

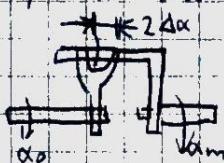


- PRZEZ ELEM. ELASTYCZNY $\alpha_s = \alpha_e - \alpha_m$



pojawnia się fakt słuchania waku

- POL. Z LUZEM - wuml. pręg. elektro. jest przekazywany mechanizmowi po wybraniu luzu (zbiot części mechanicznych o $\Delta\alpha$, tzw. niewielka)



ZASADY DOBORU SILNIKA

- ZBYT DUŻA MOC: większe wymiary i ciężar, większe straty biegów jatowanych, mniejsza sprawność, mniejszy czas
- ZBYT MAŁA MOC: odłączanie przez zabezpieczenia, zatr. procesu technologicznego, brak możliwości startowania, większe pochody (skurcz i zatrócenie)
- DOBÓR SILNIKA

I: RODZAJ PRĄDU: AC Czy DC?

II: TYP SILNIKA ORAZ U_n

III: TYP BUDOWY MECHANICZNEJ SILNIKA

IV: ZNAMIONOWA M_n

V: MOC ZNAMIONOWA

- WARUNKI DOBORU SILNIKA

$$P_N = M_n \cdot \omega_n$$

I: SILNIK NIE POWINIE SIĘ NADMIERNIE GRZAĆ $T_N > P_Z$

II: Moment maksymalny silnika powinien być większy niż moment zatrócenia z wykresu przedstawionego obok

$$M_{max} > M_{zatr}$$

III: Moment rozruchowy powinien być większy niż moment oporu w chwili startu rozruchu

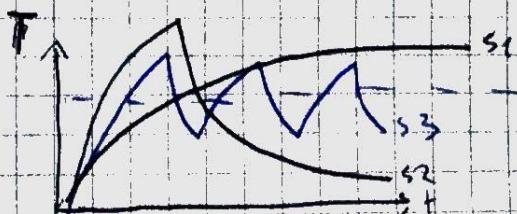
$$M_r > M_o$$

RODZAJE PRACY:

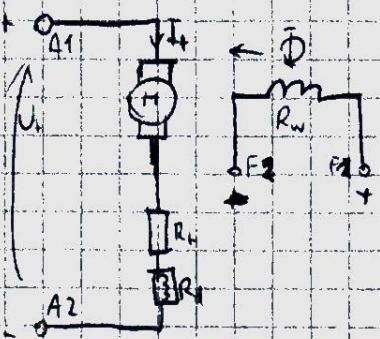
S1 - ciągła

S2 - okresowa

S3 - dwuwymiarowa zmienna



SILNIK OBĆWÓZBUDNY, CH-KI, REGULACJA



$$U_+ = (R_i + R_s) I_+ + E_s$$

$$E_s = k_e \Phi_w w$$

$$M_c = k_t \Phi_w I_+$$

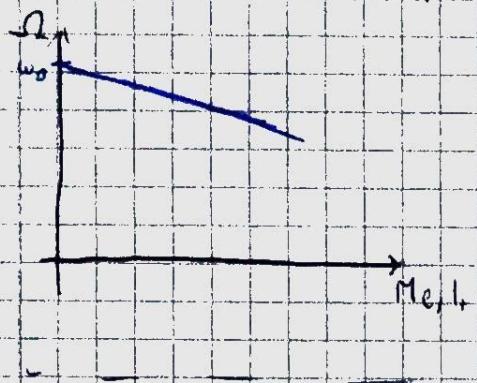
$$\omega = \omega(I_+) = \frac{U_+}{k_e \Phi_w} - \frac{R_i + R_s}{k_e \Phi_w} I_+ = \omega_0 - k_e I_+$$

pr. idealnego bieg. statycznego

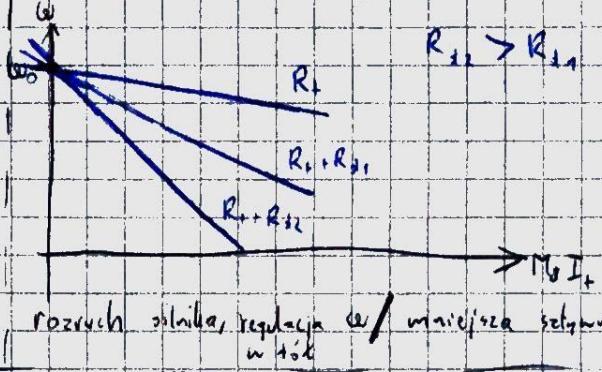
RÓWNANIE CH-KI

ELEKTROMECHANIKI

CHARAKTERYSTYKA NATURALNA



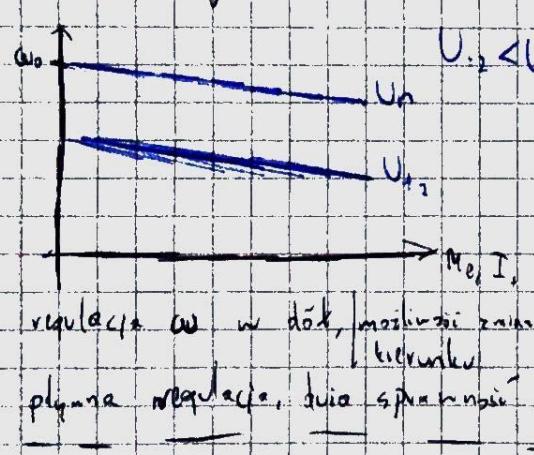
ZWIĘKSZANIE R_d



$$R_{d2} > R_{d1}$$

rozruch silnika, regulacja ω / zmniejsza zatyczność, straty mocy w tók

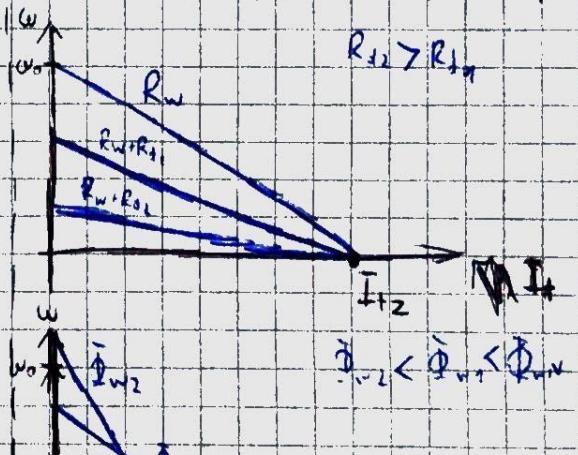
ZMIENIĘSZANIE U



regulacja ω w tók, zmniejszanie napięcia
lub ujemny moment obciążenia

plugowa regulacja, duża zmiany napięcia

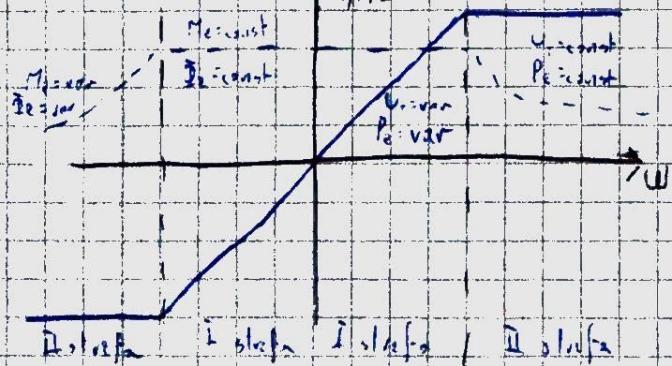
ZMIANA Φ_w (czyli zmniejszenie R_w)



$$R_{d2} > R_{d1}$$

$$\Phi_{w2} < \Phi_{w1} < \Phi_{w3}$$

DWUSTREFOWE STEROWANIE ω

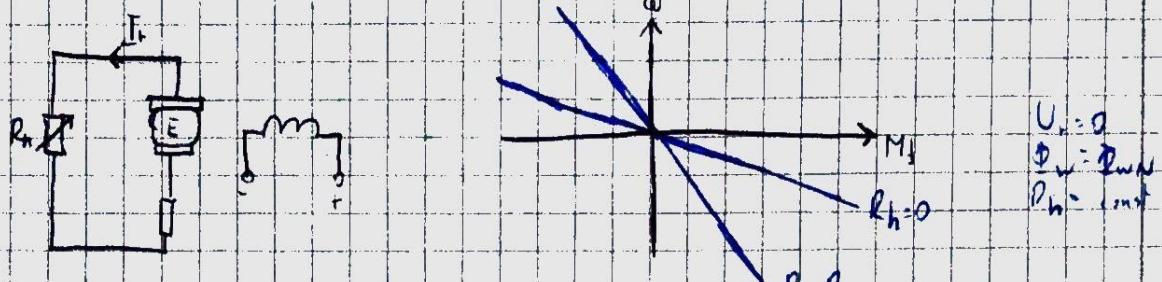


regulacja ω w góre, ograniczenia z masy i konstrukcji,
male straty mocy, ale istnieje możliwość
zobiegania

SILNIK OBCOUZBUDNY, HAMOWANIE

HAMOWANIE ODZYSKOWE: $\omega > \omega_0$, $E > U_0$, II/IV kw.
może istnieć możliwość zwrotu energii do sieci

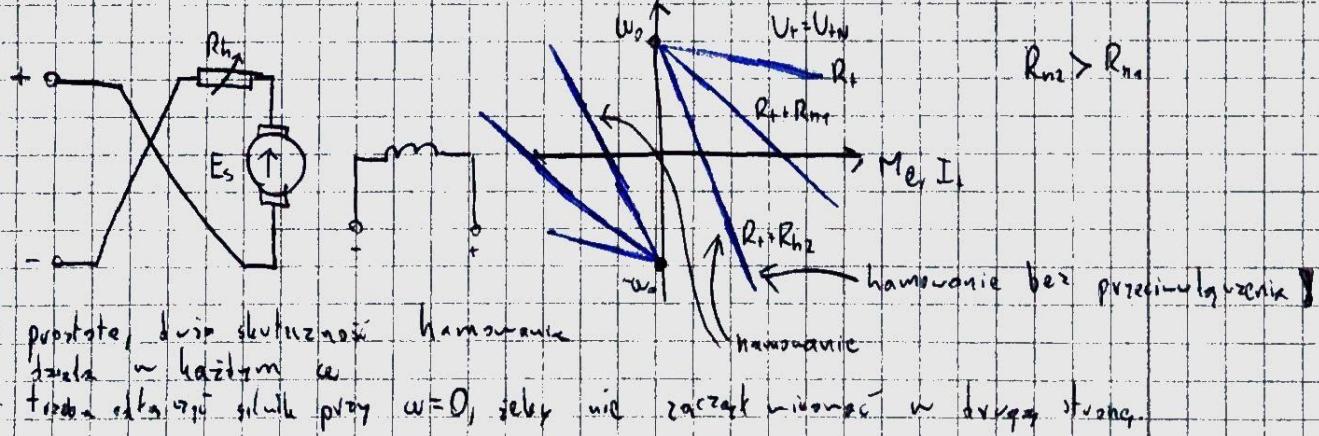
HAMOWANIE DYNAMICZNE: zmarszc. momentu przez R_h lub zatrzymanie zmienn.



- brak momentu hamującego przy $\omega=0$
- + duża pewność pracy, prostota układu

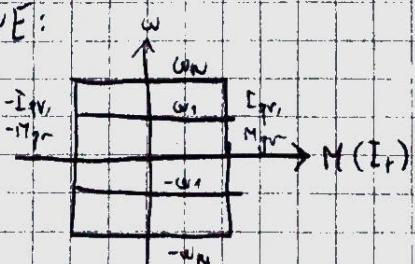
HAMOWANIE PRZECIWNIAŁCZENIEM

Przeciwzgin. U_2 na zatrzym. bieguna mocy / wzbudzenie zostaje tak samo

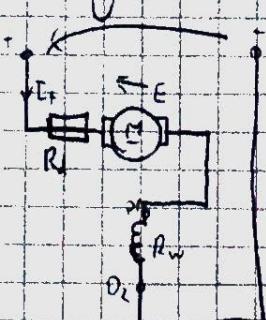


- + prostota, duży skuteczność hamowania
- działa w każdym ω
- trudno ostatecznie silnik przy $\omega=0$, jeśli nie zacząć hamować w drugą stronę.

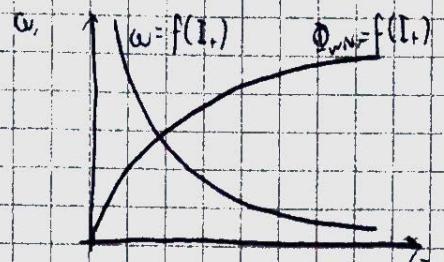
CHAR. WOPARUNKOWE:



SILNIK SZEREGOWY



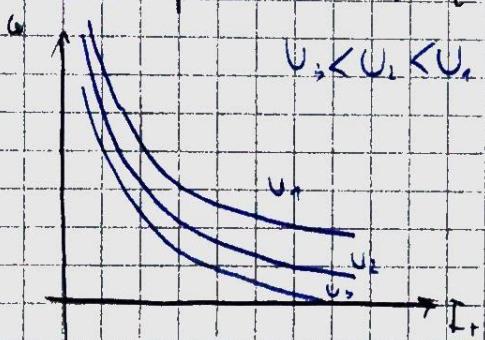
$$\omega = \frac{U}{k_e \Phi_w(I_r)} - \frac{R_M + R_L + R_d}{k_e \Phi_w(I_r)} I_r$$



$$M_s = k_e \Phi_w I_r = k_e T^2$$

CH-VA NATURALNA
ELEKTROMECHANISCZA

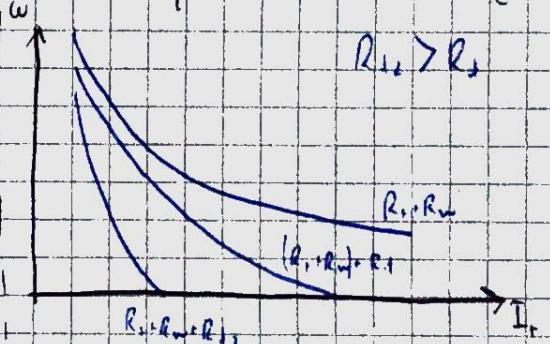
REGULACJA PRZEZ ZMIANĘ U



niemalże w dół

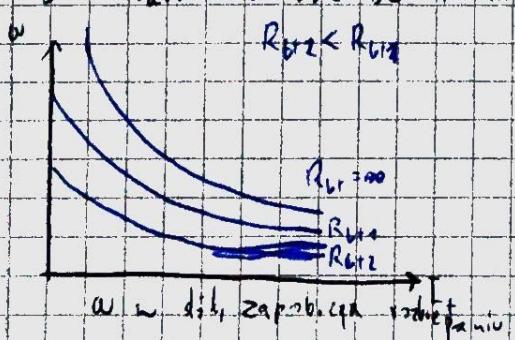
wymaga regulatora zmiennego napięcia

REGULACJA PRZEZ ZMIANĘ R_d



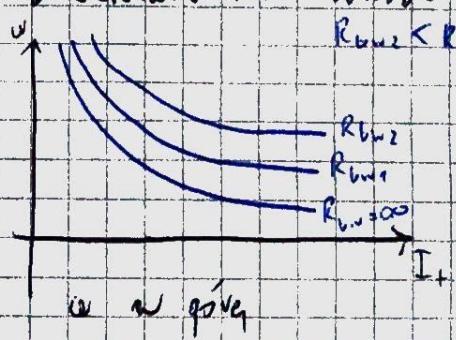
sądki sprawdzaj gdy ω↑

BOCZNIKOWANIE OBWODU TWORZYLKA



ω w dół, zapobiegając zatrzymaniu

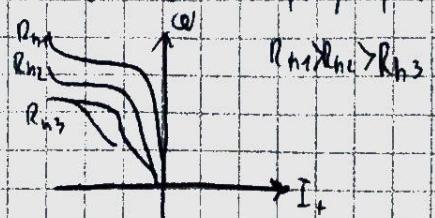
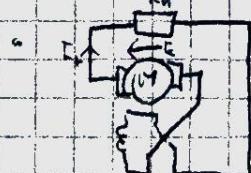
BOCZNIKOWANIE OBWODU WŁBUDZENIA



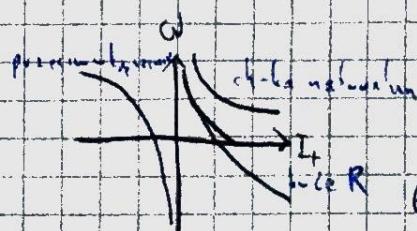
ω w góre

HARMONIAK SPIS PRĄDU STAREGO:

- ODZYSKOWE: wymagałoby $\omega > \omega_0$, czyli $\omega \propto \infty \rightarrow$ niesoszane
- DYNAMICZNE: zwarcie silnika przez R_h , przy ω obrotach zmniejszonych może mieć ten sam "kierunek" co przy pracy silnika



- PRZECIWNIAŁCZENIEM: trzeba włączyć regulator
 - duży wzrost ω obrotów tworząc



SILNIKI PRĄDU STALEGO SPEROWANIE IMPULSOWE

- modułacja częstotliwościowa
- modułacja częstotliwościowa
- modułacja częstotliwościowa - częstotliwościowa

SILNIKI INDUKCYJNE

ROZRUCH SI KŁATKOWEGO

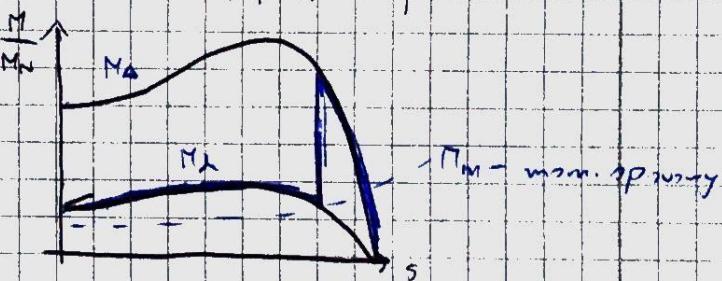
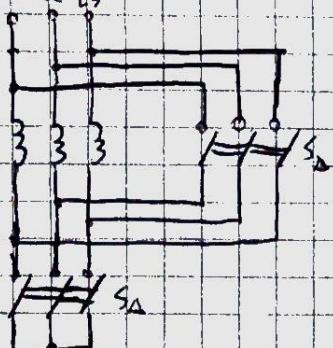
$$I_r = I_r \frac{U_s}{U_N} \quad M_r = M_r \left(\frac{U_s}{U_N} \right)^2$$

I: PRZELACZNIK Y/Δ

- silniki do 1kV

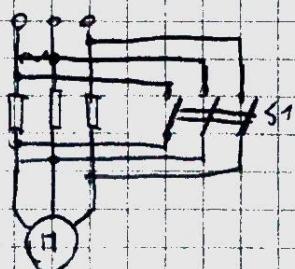
- warunki: normalna praca w Δ , tabliczka zapiskowa z typem położ. i kąt. uzw. stojana, moment oporowy przy rozruchu $M_o = 0,2-0,4 M_N$

- napięcie zwierciadło, przy $\omega \approx \omega_N$
 $\frac{U_3}{U_1} = \frac{U_2}{U_3}$ - konstanta mnożnika prądów fazowych
 $\omega \approx \omega_N$ - przekształcenie w trójkąt
 3-krotne mnożnik M_M i prąd żarzenia



II: ROZRUSZNIK STOJANOWY

- wpięcie kompletu rezystorów w obwód stojana
- dodatkowe ograniczenie prądu stojana
- $R \rightarrow$ niski napięcie, $L \rightarrow$ duża średnia moc
- niesymetryczne ograniczenie momentu (wsp. obracanej prądu)
- dobór wymaga znajomości min. momentu rozruchowego
- przy rozruchu zmienia się uzw. stojana stykaniem



- optимальne rozwiązywanie: $\cos \varphi_{rozruchnika} = \cos \varphi_{silnika}$
- zmiany uzw. bez rozruchnika nie są problemem

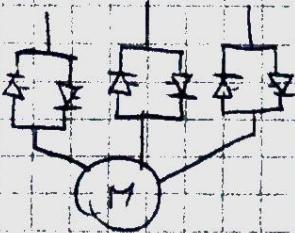
III: AUTOTRANSFORMATOR ROZRUCHOWY

- zmniejszenie w tym samym stopniu prądu rozruchowego momentu rozruchowego

$$I_r = I_r \frac{1}{\sqrt{2}} \quad M_r = M_r \frac{1}{\sqrt{2}}$$

(praktycznie)

IV ROZRUCH Z ZAST. TRYFESTROWEGO SIEROWNIKU U

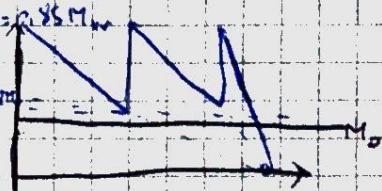


- soft start, napięcie zmienne
- obciążki AN, małe i średnia moc
- po rozruchu zatrzymanie silnika, który nie kąsić tygocików niepotrzebnie

ROZRUCH SI PIERŚCIENIOWEGO

• rozruszniki R: straty mocy na rezystancji, ale duża dobra rozbudowa

- kąsikowoprone, zależne od wymaganej płynności rozruchu $n_p = n_0$
- jego dobro

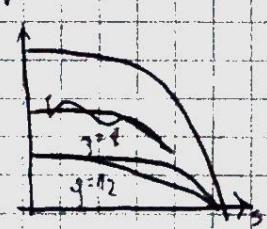
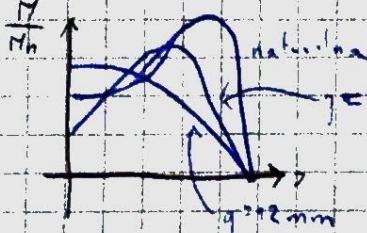


- rozruszniki sterowni

Samoczynna zmiana impedancji w czasie

- rozruszniki silnoprzodkowe

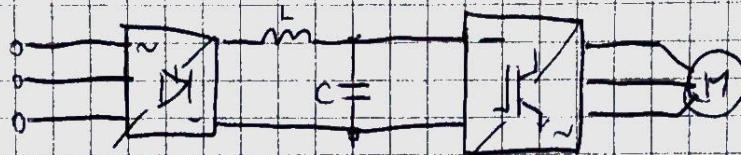
+ czas rozruchu, konstrukcja spłotów silnika, płynna regulacja prędkości roboczej
- $R+L$ char. impedancji, małe tempo rozruchu, złożony proces projektowania, układ per napięcie



- wiele zjawisk niesymetrycznych rozruchu $E = \frac{M_{el}}{M_{ez}} = \frac{J_m}{J_{ez}}$

SILNIK INDUKCYJNY Z FALOWNIKIEM NAPIĘCIA

- PREDGŁOSCI KLTOWA: $\omega = \frac{2\pi f}{p} (1-s)$
 - metody regulacji: zmiana liczby par biegunów, zmiana wartości pola i prądu, zmiana częstotliwości.
- STEROWANIE f : sterowanie zmienną częstotliwością, jak: amplituda napięcia zasilającego.
- Silnik indukcyjny vs. SPS: większa niezawodność, mniejsze głośności, odporność na zakres częstotliwości regulacji.
- najczęściej stosowane: falowniki PWM (stale U_{av} , regulowane f_{av})



więcej się do starych wartości strumienia stojana lub wirnika, aby $M_{av} = \text{const}$

metody skalarne:

- sterowanie U_{max} ; f
- sterowanie I_{stmax} , f (ampl. prądu stojana, f wirnika)

metody wektorowe:

- wzajemne sterowanie skalarne: prąd stojana fazowy strumień POŁOWO ZORIENTOWANY zachowuje stałą amplitudę i fazę wektora prądu
- DTC: bezpośrednie sterowanie momentem silnika

INFORMACJE O STEROWANIU U, f

- M_{av} przy stałym f zależy od U^2
- M_{av} zależy od R_{st} wirnika
- $s_{av} \sim \frac{x_f}{x_s x_w}$

- zmniejszenie f i U sprawia, że przy ich malejących wartościach uwiadczona siła napięcia R_{st} wirnika który zmniejsza M_{av}
- wprowadza się ΔU , korekta wartości napięcia stojara o spadek napięcia

ZAKLADKI: CECHY STEROWANIA UIF:

- + prostota struktura układu
- + płynna regulacja, szeroki zakres
- + wydajna sprawność
- + linowość chodu mechanizmu
- jeśli chcemy uzupełnić poprawką do układu (np. robi skompresor)

SILNIKI INDUKCYJNE: HAMOWANIE

HAMOWANIE ODZYSKOWE, $\omega > \omega_s$, SKO

- silnik pracuje jak generator indukcyjny: zwraca do sieci moc czynna, pobiera moc bierczą
- uzyskiwane gdy silnik napędza moment M_0 mniejszych, czyli maszyna wypierała silnik
- moceja to też oznacza np. przerzut zmniejszenie f_0 czyli $s > 1$

HAMOWANIE PRZECIWNŁĄCZENIEM $s > 1$

- gdy M_0 sprawdza obrót wirnika w kierunku stojanu lub gdy przekształci się faza stojana
- do wirnika wraca się rezystor, bo inaczej M hamujący jest mały
- wat energii mechanicznej, siły elektrodynamicznej \rightarrow wytracane na węzele stojana i rezystory wirnika
- problemównych problemów: duże mocy z cieni, wytrudniające pracę silnika cieplą

HAMOWANIE DYNAMICZNE

- podciagnięcie stojana do DC, utworzenie nieruchomego pola magnetycznego
- pole magnetyczne ~~wirnika~~ stojana vs. prady feru wirnika: moment hamujący
- wytracanie mocy na R_d i R_s
- sterowanie $\Rightarrow M_h$: zmiana prady stojana, zmiana R_d
ograniczenia prady
napięcia wirnika $\sim I^2$ $M_h \propto R_s$ $\propto I^2$ przerwanie chłodni

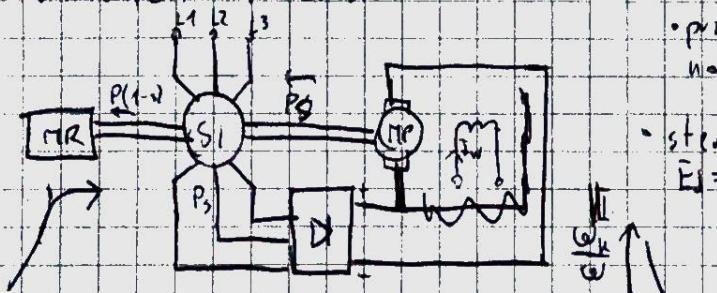
ENERGOELEKTRONICZNE UKŁADY REG. HAMOWANIA DC SI

- prób głosząc steruje s_f , aby uzyskać czas hamowania przydany dla danego procesu technologicznego

UKŁADY KASKADOWE

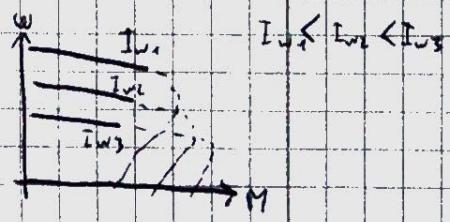
- istota regulacji w w SI: zmiana położ. gw. wirnika, ale moc prądu nie jest trakcja na R wirnika, tylko:
 - oddawana do sieci. $M = \text{const}$
 - obciążana na ral. silniku, $P = \text{const}$
- kątowych chod maszyny: wprowadzenie do obw. wirnika dodatkowej \tilde{E}_d
 - $f = f_m \rightarrow$ zmiana amplitudy i przesunięcia fazowego E_d wzgl. E_r zmienia s. czp
 - jeśli $\varphi = \pi$, $E_{da} = -E_d$, przy $M_2 = \text{const}$ $I_r = \text{const}$, więc $\omega \downarrow$, $s \uparrow$
 - jeśli $\varphi = 0$, $E_r = E_d$, $E_w \uparrow$, $I_r = \text{const}$, $\omega \uparrow$, $s \downarrow$ (pr. nadzynkowa)
- przy $\varphi < \frac{\pi}{2}$ $E_d \rightarrow E_w \uparrow$, $I_r \uparrow$, $M_w \uparrow$, $\omega \uparrow$, $s \downarrow$
- przy $\varphi > \frac{\pi}{2}$ $E_d \rightarrow E_w \downarrow$, $I_r \downarrow$, $M_w \downarrow$, $\omega \downarrow$, $s \uparrow$

KASKADA $P = \text{const}$



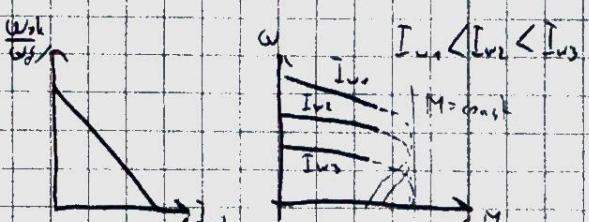
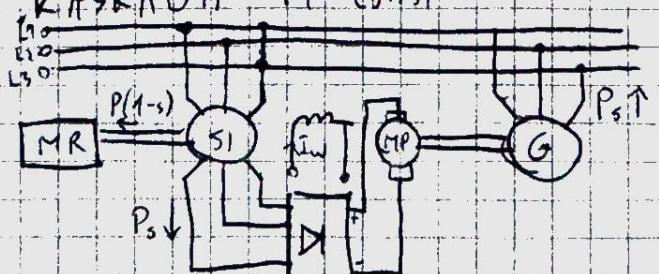
◦ przy pomniejszaniu strumia, czeba moc idzie na wak

◦ sterowanie: zmiana I_w zmienia \tilde{E}_d
 $\tilde{E}_d = k_e \Phi_w \omega$

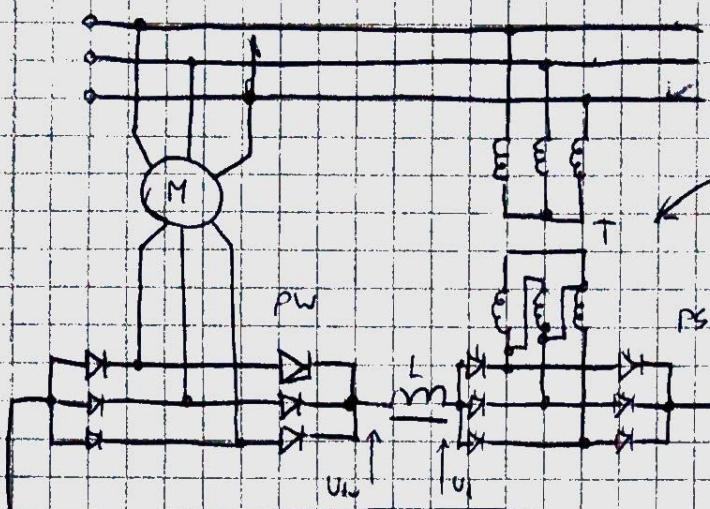


◦ ograniczenia regulacji: moc masywnego prądu stałego

KASKADA $M = \text{const}$



LASKADA ZAWÓDWA $M = \text{const.}$



trafo biegunowy napięcie

L - stanik + kier, L

P_S - przekr. ciągowy

$$L = L_1 - S L_2 \quad (L_1 = L_1 \text{ with } f_2, S)$$

- zmiana E_f : zmiana myślnictwa P_S $\alpha = 90^\circ$ - mat. (e)

- zwiększenie chwil. jed. mocyjna wizualna: rezystancje obwodów i trafo

- spadek w : większe oporowe X , większe ubóstwo R , spadek zwiększenia chwil.

ZALETY:

- płynna regulacja α
- szybki zakres regulacji α
- linowość chwil mechanizmy
- wyższa sprawność
- sterowanie grupami i indywidualnymi napędami