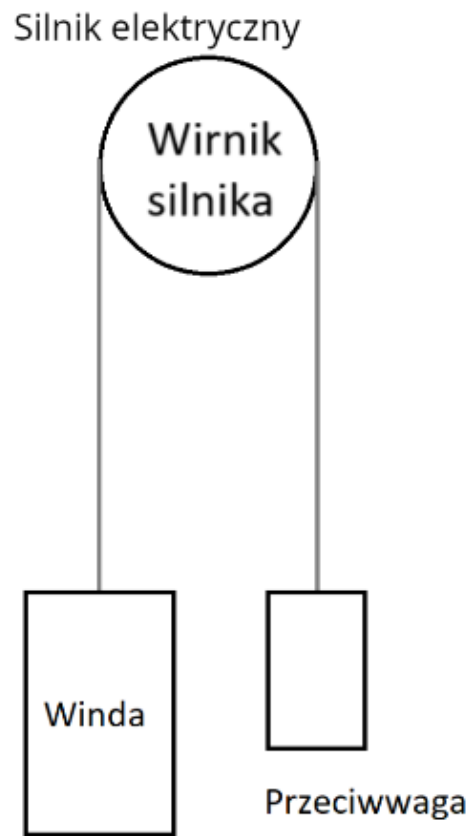


Inteligentne systemy sterowania

Szymon Nowak 151862

April 10, 2025

1 Wstęp



2 Opis wielkości fizycznych

N_w - siła naciągu liny pomiędzy wałem wirnika a windą
 N_p - siła naciągu liny pomiędzy wałem wirnika a przeciwwagą
 Q_w - ciężar windy
 Q_p - ciężar przeciwwagi
 $M_{obr w}$ - moment obrotowy wirnika
 $F_{wypp w}$ - siła wypadkowa działająca na windę
 $F_{wypp p}$ - siła wypadkowa działająca na przeciwwagę
 $M_{wypp w}$ - moment wypadkowy działający na wirnik
 R - promień kołowrotka

M_l - masa ludzi i towaru w windzie (masa netto windy)

M_w - masa pustej windy (tara masy windy)
 M_{pw} - masa przeciwwagi
 A - przyspieszenie układu
 G - przyspieszenie ziemskie

I_{bezw} - moment bezwładności wirnika
 E - przyspieszenie kątowe wirnika
 M_{wir} - masa wirnika

U_z - napięcie zasilające wirnik
 U_{pz} - napięcie poprzednie zasilające wirnik
 I_w - prąd płynący w uzwojeniach wirnika
 I_{wp} - prąd płynący w uzwojeniach wirnika poprzedni
 R_w - rezystancja zastępcza uzwojeń wirnika
 L_w - indukcyjność zastępcza uzwojeń wirnika
 E - siła elektromotoryczna indukcji
 ω_s - prędkość kątowna wirnika
 k_e - stała elektryczna, zależna m.in. od strumienia magnetycznego stojana oraz liczby zwojów w uzwojeniach wirnika

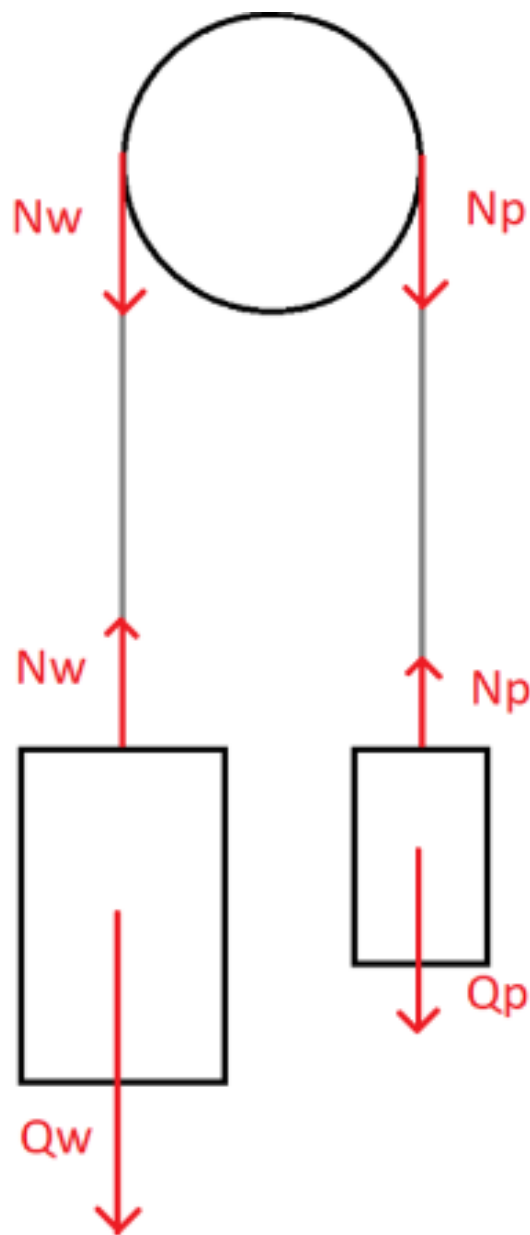
k_m - stała mechaniczna, zależna m.in. od strumienia magnetycznego stojana oraz liczby zwojów w uzwojeniach wirnika
 B - współczynnik tarcia lepkiego zredukowany do wału wirnika
 M_{obc} - stały moment obciążenia silnika

k_m - stała mechaniczna, zależna m.in. od strumienia magnetycznego stojana oraz liczby zwojów w uzwojeniach wirnika
 B - współczynnik tarcia lepkiego zredukowany do wału wirnika
 M_{obc} - stały moment obciążenia silnika

V_0 - prędkość, którą miała winda przed rozpoczęciem nowego okresu czasu T_p
 V_p - prędkość poprzednia windy
 T_p - czas próbkowania

H - wysokość aktualna windy
 H_p - wysokość poprzednia windy (czas próbkowania temu)

3 Wyprowadzenie wzorów



3.1 Rozkład sił w układzie

N_w - siła naciągu liny pomiędzy wałem wirnika a windą
 N_p - siła naciągu liny pomiędzy wałem wirnika a przeciwwagą
 Q_w - ciężar windy
 Q_p - ciężar przeciwwagi
 $M_{obr w}$ - moment obrotowy wirnika
 $F_{wyp w}$ - siła wypadkowa działająca na windę
 $F_{wyp p}$ - siła wypadkowa działająca na przeciwwagę
 $M_{wyp w}$ - moment wypadkowy działający na wirnik
 R - promień kołowrotka

Równania opisują dynamikę ruchu windy, przeciwwagi i wirnika. Pierwsze dwa równania przedstawiają wypadkowe siły działające odpowiednio na windę i przeciwwagę. Trzecie równanie opisuje moment

wypadkowy działający na wirnik.

$$\begin{cases} F_{wyppw} &= N_w - Q_w \\ F_{wyppp} &= Q_p - N_p \\ M_{wyppw} &= M_{obr w} + N_w R - N_p R \end{cases}$$

Ponieważ wszystkie elementy układu są połączone liną, poruszają się one z takim samym przyspieszeniem. Kierunek ruchu zależy od masy windy i przeciwwagi oraz od momentu obrotowego wirnika. Aby uprościć analizę, na początek skupimy się na zależnościach dotyczących samej windy i przeciwwagi.

M_l - masa ludzi i towaru w windzie (masa netto windy)

M_w - masa pustej windy (tara masy windy)

M_{pw} - masa przeciwwagi

A - przyspieszenie układu

G - przyspieszenie ziemskie

$$\begin{cases} (M_w + M_l)A &= N_w - (M_w + M_l)G \\ M_{pw}A &= M_{pw}G - N_p \\ \frac{M_{wyppw} - M_{obr w}}{R} &= N_w - N_p \end{cases}$$

Sumując równania windy i przeciwwagi otrzymamy:

$$(M_w + M_l + M_{pw})A - (M_{pw} - M_w - M_l)G = N_w - N_p$$

Różnicę $N_w - N_p$ poznamy z równania wirnika, dlatego wróćmy teraz do niego.

I_{bezw} - moment bezwładności wirnika

E - przyspieszenie kątowne wirnika

M_{wir} - masa wirnika

Zgodnie z zasadą dynamiki ruchu obrotowego moment wypadkowy działający na wirnik jest równy iloczynowi momentu bezwładności oraz przyspieszenia kątownego:

$$M_{wyppw} = I_{bezw} E$$

Moment bezwładności wirnika, ma on kształt walca, oznacza to, że:

$$I_{bezw} = \frac{M_{wir} R^2}{2}$$

Przyspieszenie kątowne wirnika jest powiązane z przyspieszeniem liniowym elementów układu poprzez zależność:

$$E = \frac{A}{R}$$

Podstawiając te zależności do równania momentu sił działających na wirnik, otrzymujemy:

$$\frac{M_{wyppw} - M_{obr w}}{R} = N_w - N_p$$

$$\frac{M_{wir} A}{2} - \frac{M_{obr w}}{R} = N_w - N_p$$

Otrzymane równanie przedstawia zależność pomiędzy siłami naciągu liny, momentem obrotowym wirnika oraz przyspieszeniem układu. Pozostało nam tylko poznać ile wynosi $M_{obr w}$

3.2 Poruszanie się silnika

Skorzystamy z silnika elektrycznego prądu stałego z magnesem trwałym zgodnym z opisem na stronie https://home.agh.edu.pl/~pautom/pliki/laboratoria/lab2_.pdf W dokumencie podzielono na część elektryczną i mechaniczną.

Część elektryczna:

U_z – napięcie zasilające wirnik

U_{pz} – napięcie poprzednie zasilające wirnik

I_w – prąd płynący w uzwojeniach wirnika

I_{wp} – prąd płynący w uzwojeniach wirnika poprzedni

R_w – rezystancja zastępcza uzwojeń wirnika

L_w – indukcyjność zastępcza uzwojeń wirnika

E – siła elektromotoryczna indukcji

ω_s – prędkość kątowna wirnika

k_e – stała elektryczna, zależna m.in. od strumienia magnetycznego stojana oraz liczby zwojów w uzwojeniach wirnika

Wzór:

$$U_z = R_w I_w + L_w \frac{dI_w}{dt} + k_e \omega_s$$

Zamieńmy z funkcji różniczkowej na funkcję różnicową:

$$U_z = R_w I_w + L_w \frac{(I_w - I_{wp})}{T_p} + k_e \omega_s$$

Wyciągnijmy I_w z równania i skorzystajmy z prawa Ohma:

$$I_w = \frac{U_z + \frac{L_w}{T_p} \frac{U_{pz}}{R_w} - k_e \omega_s}{R_w + \frac{L_w}{T_p}}$$

Część mechaniczna:

k_m – stała mechaniczna, zależna m.in. od strumienia magnetycznego stojana oraz liczby zwojów w uzwojeniach wirnika

B – współczynnik tarcia lepkiego zredukowany do wału wirnika

M_{obc} – stały moment obciążenia silnika

Wzór:

$$k_w I_w = M_{obr w} + B \omega_s + M_{obc}$$

Łącząc wzór elektryczny z mechanicznym otrzymujemy:

$$M_{obr w} = \frac{k_w}{R_w + \frac{L_w}{T_p}} \left(U_z + \frac{L_w}{T_p} \frac{U_{pz}}{R_w} - k_e \omega_s \right) - B \omega_s - M_{obc}$$

Łącząc go ze wzorem na siły w wirniku otrzymamy:

$$\frac{M_{wir} A}{2} - \frac{\frac{k_w}{R_w + \frac{L_w}{T_p}} \left(U_z + \frac{L_w}{T_p} \frac{U_{pz}}{R_w} - k_e \omega_s \right) - B \omega_s - M_{obc}}{R} = N_w - N_p$$

$$\frac{M_{wir} A}{2} - \frac{\frac{k_w}{R_w + \frac{L_w}{T_p}} \left(U_z + \frac{L_w}{T_p} \frac{U_{pz}}{R_w} - k_e \omega_s \right) - B \omega_s - M_{obc}}{R} = (M_w + M_l + M_{pw}) A - (M_{pw} - M_w - M_l) G$$

Wyciągając przyspieszenie ze wzoru otrzymujemy:

$$A = \frac{\frac{k_w}{R_w + \frac{L_w}{T_p}} \left(U_z + \frac{L_w}{T_p} \frac{U_{pz}}{R_w} - k_e \omega_s \right) - B \omega_s - M_{obc}}{\frac{M_{wir}}{2} - (M_w + M_l + M_{pw})}$$

Do obliczenia wysokości potrzebujemy prędkość początkową windy:

V_0 - prędkość, którą miała winda przed rozpoczęciem nowego okresu czasu T_p

V_p - prędkość poprzednia windy

T_p - czas próbkowania

$$V_0 = V_p + AT_p$$

Znając przyspieszenie i prędkość początkową z jaką poruszała się winda w czasie rozpoczęcia nowego okresu czasu T_p możemy obliczyć wysokość, na której będzie znajdowała się winda po czasie T_p

H - wysokość aktualna windy

H_p - wysokość poprzednia windy (czas próbkowania temu)

$$H = H_p + V_0 T_p + \frac{AT_p^2}{2}$$

Tym sposobem dostosowując napięcie na silniku będziemy zmieniać wysokość na którą ma się dostać winda.

4 Rachunek jednostek

$$\left[\frac{m}{s^2}\right] = \frac{\frac{[Nm/A]}{[\Omega] + \frac{[\Omega \cdot s]}{[s]}} \left([V] + \frac{[\Omega \cdot s]}{[s]} \cdot \frac{[V]}{[\Omega]} - [V] \right) - [Nm] - [Nm]}{\frac{[m]}{\frac{[kg]}{2}} - ([kg] + [kg] + [kg])} - ([kg] - [kg] - [kg]) \cdot \left[\frac{m}{s^2}\right]$$

$$\left[\frac{m}{s^2}\right] = \frac{\frac{[Nm]}{[V]} \cdot [V] - [Nm]}{[m]} - [kg] \cdot \left[\frac{m}{s^2}\right]$$

$$\left[\frac{m}{s^2}\right] = \frac{[N] - [kg] \cdot \left[\frac{m}{s^2}\right]}{[kg]}$$

$$\left[\frac{m}{s^2}\right] = \frac{\left[\frac{kg \cdot m}{s^2}\right] - [kg] \cdot \left[\frac{m}{s^2}\right]}{[kg]}$$

$$\left[\frac{m}{s^2}\right] = \frac{[kg] \cdot \left[\frac{m}{s^2}\right]}{[kg]}$$

$$\left[\frac{m}{s^2}\right] = \left[\frac{m}{s^2}\right]$$

5 Symulacja

6 Wyniki symulacji