

Program ćwiczenia

„Badanie właściwości elektrowni wiatrowej w oparciu o model symulacyjny”

1. Zapoznać się programem symulacyjnym model_1.mdl: strukturą i obsługą
2. Wykreślić charakterystyki statyczne zamodelowanej elektrowni: $C_p=f(\lambda)$ oraz $P=f(\omega)$ dla $v_w=\text{const}$.
3. Określić właściwości dynamiczne: odpowiedź układu na skokową zmianę wartości wiatru oraz skokową zmianę mocy obciążenia
4. Korzystając z wersji model_2.mdl ocenić wpływ wyższych harmonicznych na pracę silnika wiatrowego
5. Ocenić jakość układu sterowania optymalnego (program model_3.mdl)
6. W ramach sprawozdania opracować dodatkowe zagadnienie podane przez prowadzącego.

Moc strumienia wiatru:

$$P_{wind} = \frac{1}{2} \rho A v^3$$

Powierzchnia zataczana przez łopaty turbiny wiatrowej:

$$A = \pi R^2$$

- ρ – gęstość powietrza
 R – promień turbiny (\approx długość łopat)
 v – prędkość wiatru

$$\rho = 1,225 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

Moc mechaniczna uzyskiwana z wiatru:

$$P_{WW} = c_p P_{wind}$$

Współczynnik mocy rzeczywistej turbiny wiatrowej różni się od teoretycznego współczynnika Betz'a z powodu: różnych strat aerodynamicznych, zależnych od konstrukcji turbiny (liczby i kształtu łopat, wagi, sztywności, itp.)

Współczynnik mocy rzeczywistej turbiny wiatrowej:

$$c_p = c_1 \left(c_2 \frac{1}{\Lambda} - c_3 \vartheta - c_4 \vartheta^x - c_5 \right) e^{-c_6 \frac{1}{\Lambda}}$$

gdzie:

$$\frac{1}{\Lambda} = \frac{1}{\lambda + 0,08\vartheta} - \frac{0,035}{1 + \vartheta^3}$$

Współczynnik szybkobieżności:

$$\lambda = \frac{\omega_w R}{v}$$

- ϑ – kąt nachylenia łopat turbiny
 ω_w – prędkość kątowna łopat turbiny
 $c_1 - c_6$ – współczynniki

$$c_1 = 0,5$$

$$c_2 = 116$$

$$c_3 = 0,4$$

$$c_4 = 0$$

$$c_5 = 5$$

$$c_6 = 21$$

Dynamika wiatru

Dynamika zmian mocy mechanicznej uzyskiwanej z wiatru:

$$P_R = P_{WW} K_W \frac{1 + sT_{W1}}{1 + sT_{W2}}$$

gdzie:

$$T_{W1} > T_{W2}$$

K_W – wzmacnienie

T_{W1}, T_{W2} – stałe czasowe

$$K_W = 1$$

$$T_{W1} = 3.3 \text{ [s]}$$

$$T_{W2} = 0.9 \text{ [s]}$$

Drgania własne

Moment napędowy generowany na wale turbiny wiatrowej:

$$\tau_W = \frac{P_W}{\omega_W}$$

Moc mechaniczna przechodząca przez układ napędowy:

$$P_W = P_R \left(1 + \sum_{k=1}^3 A_k \left(\sum_{m=1}^2 a_{km} g_{km}(t) \right) h_k(t) \right)$$

Rozkład k -tego rodzaju drgań dla m -tej harmonicznej:

$$g_{km}(t) = \sin \left(\int_0^t m \omega_k(\zeta) d\zeta + \varphi_{km} \right)$$

gdzie:

A_k – wzmacnienie k -tego rodzaju drgań

ω_k – częstość k -tego rodzaju drgań

$h_k(t)$ – modulacja k -tego rodzaju drgań

m – harmoniczna

a_{km} – wzmacnienie składowej g_{km}

φ_{km} – faza początkowa k -tego rodzaju drgań dla m -tej harmonicznej

t, ζ – czas

k	Źródło drgań własnych	A_k	ω_k [rad/s]	$h_k(t)$	m	a_{km}	φ_{km} [rad]
1.	Asymetria	0.01	ω_w (1P)	1	1	0.8	0
					2	0.2	$\pi/2$
2.	Oddziaływanie zawirowań wokół wieży	0.08	$3\omega_w$ (3P)	1	1	0.5	0
					2	0.5	$\pi/2$
3.	Łopaty	0.15	$2\pi 4.5$	$0.5(g_{11}(t)+g_{21}(t))$	1	1.0	0

Zespół napędowy (wał i przekładnia)

$$\frac{d\delta_w}{dt} = \omega_w - \omega_{w0} = \Delta\omega_w$$

$$\frac{d\delta_G}{dt} = \omega_G - \omega_{G0} = \Delta\omega_G$$

$$J_w \frac{d\Delta\omega_w}{dt} = \tau_w - K\left(\delta_w - \frac{\delta_G}{\nu}\right) - D\left(\Delta\omega_w - \frac{\Delta\omega_G}{\nu}\right)$$

$$J_G \frac{d\Delta\omega_G}{dt} = \tau_G + \frac{K\left(\delta_w - \frac{\delta_G}{\nu}\right) - D\left(\Delta\omega_w - \frac{\Delta\omega_G}{\nu}\right)}{\nu}$$

gdzie:

- J_w – moment bezwładności turbiny wiatrowej
- J_G – moment bezwładności generatora
- τ_G – moment oporowy elektryczny
- ω_G – prędkość kątowa generatora
- ω_{w0} – prędkość kątowa łopat turbiny w stanie ustalonym
- ω_{G0} – prędkość kątowa generatora w stanie ustalonym
- δ_w – przesunięcie kątowe łopat turbiny
- δ_G – przesunięcie kątowe generatora
- ν – przekładnia
- K – współczynnik sztywności [Nm/rad]
- D – współczynnik tłumienia [Nms/rad]

Janusz Szewczyk – *Multiskalarny układ regulacji pracy generatorowej maszyny dwustronnie zasilanej*

Artur Nurczyk – *System komunikacji maszyny dwustronnie zasilanej*