

Eksperyment mający na celu określenie mocy i sprawności turbiny wiatrowej

Wprowadzenie

Elektrownie wiatrowe wykorzystują energię wiatru do wytwarzania energii elektrycznej. Energia kinematyczna wiatru, przechwytywana przez łopaty wirnika, jest przekształcana w mechaniczną energię obrotową, a następnie przez generator w energię elektryczną.

Wydajność turbiny wiatrowej, określana jako współczynnik wydajności c_P , stanowi stosunek mocy wykorzystanej do mocy dostarczonej: $c_P = \frac{P_{Rotor}}{P_{Wind}}$; c_P może przyjąć wartość maksymalną 0,593.

W przypadku całkowitej sprawności η turbiny wiatrowej za energię wykorzystaną przyjmuje się moc elektryczną dostarczaną przez turbinę:

$$\eta = \frac{P_{el}}{P_{Wind}} = \frac{c_P \cdot P_{el}}{P_{Rotor}} = c_P \cdot \eta_1$$

Pomiary wydajności turbin wiatrowych

Aby określić współczynnik wydajności c_P , potrzebna jest skomplikowana instalacja eksperymentalna do pomiaru prędkości wiatru. Obejmuje ona tunel aerodynamiczny, rurkę Prandtla oraz manometr rurkowy skośny. Dlatego też przeprowadzimy jedynie jakościową ocenę współczynnika wydajności w zależności od stopni dmuchawy (wentylatora).

Moc mechaniczna wirnika jest obliczana na podstawie momentu obrotowego M i częstotliwości kątowej ω :

$$P_{Rotor} = M \cdot \omega = M \cdot 2 \cdot \pi \cdot f$$

Moc elektryczna P_{el} wynika z iloczynu natężenia prądu I i napięcia U , mierzonego na generatorze pracującym pod obciążeniem.

$$P_{el} = U \cdot I$$

Wymagane urządzenia:

prądu stałego 130, śmigło, amperomierz, woltomierz, potencjometr, czujnik Halla, dwa magnesy neodymowe i Arduino Uno

Wprowadzenie do metody pomiarowej

Jeśli do generatora nie jest podłączone żadne obciążenie elektryczne, prąd nie może płynąć, a z generatora nie pobiera się mocy.

W przypadku zwarcia w generatorze indukowany jest bardzo duży prąd. Powoduje to powstanie wysokiego momentu obrotowego generatora. Wirnik zostaje zatrzymany. Pomiędzy tymi skrajnymi przypadkami znajduje się typowy stan pracy, w którym generator jest podłączony do regulowanego odbiornika elektrycznego, co pozwala na kontrolowane wytwarzanie prądu.

W celu określenia mocy mechanicznej wirnika do jednego z łopatek wirnika mocuje się dwa bardzo małe magnesy neodymowe.

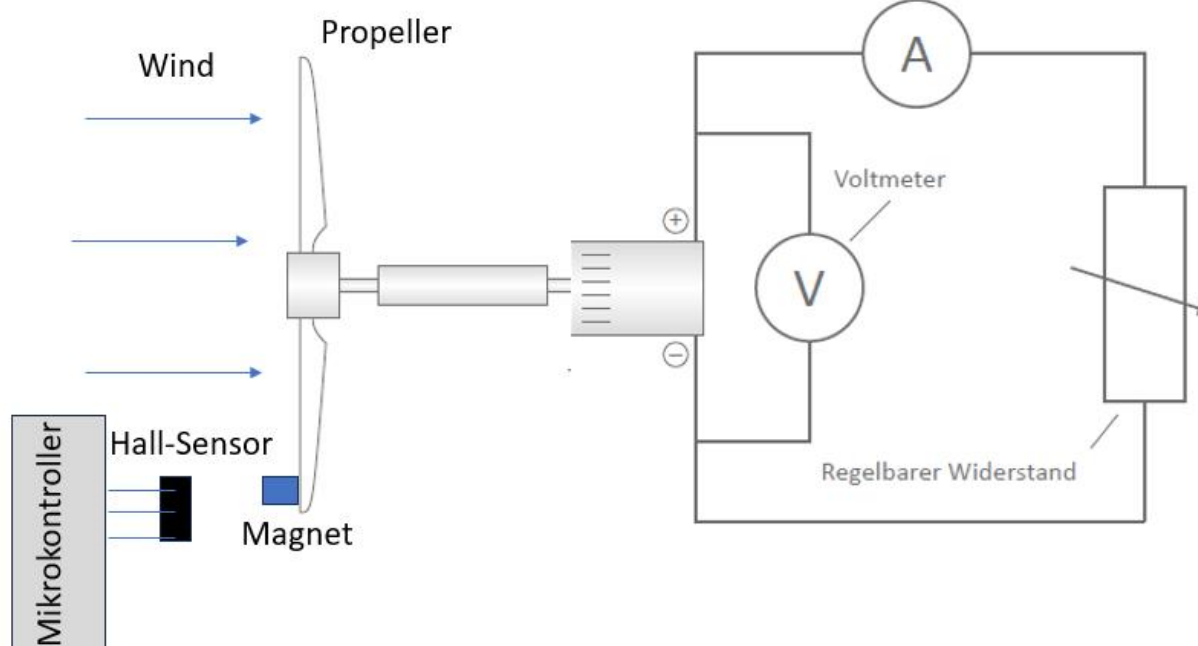
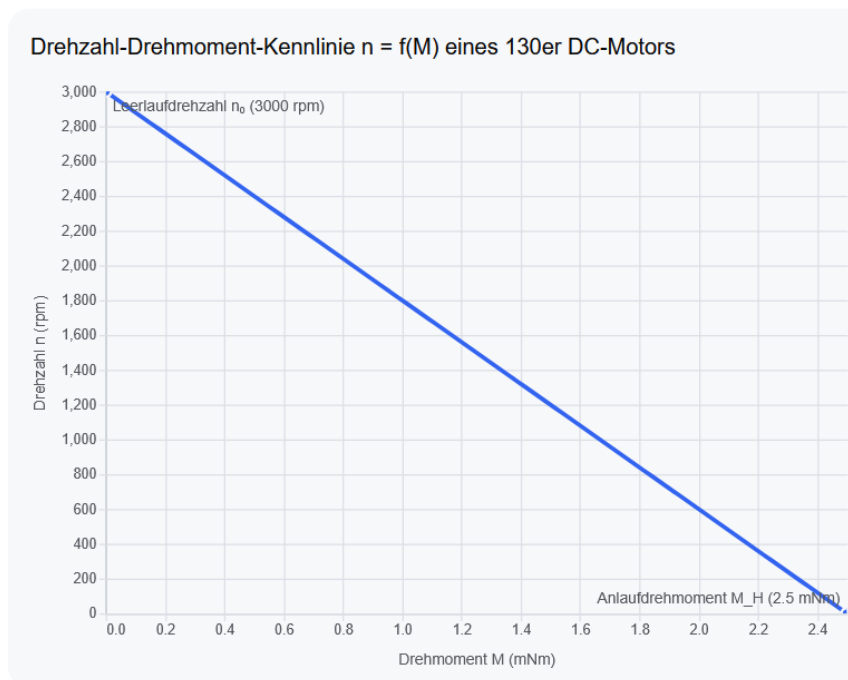


Abb.1: Schaltplan eines Windrades mit Generator zur Bestimmung der elektrischen Leistung

Czujnik Halla automatycznie mierzy okres T ruchu obrotowego śmigła za pomocą kodu programu na Arduino Uno. Częstotliwość $f = 1/T$ wprowadza się do wzoru na moc wirnika.

Moment obrotowy M odczytuje się z wykresu charakterystyki prędkości obrotowej i momentu obrotowego:



Rys. 2: Krzywa zależności prędkości obrotowej od momentu obrotowego silnika prądu stałego 130 przy napięciu 3 V

Rys. 2 pokazuje, że wraz ze wzrostem wymaganego momentu obrotowego prędkość obrotowa w obrotach na minutę proporcjonalnie maleje. Krzywa zależności prędkości obrotowej od momentu obrotowego zaczyna się w lewym górnym rogu od maksymalnej prędkości obrotowej na biegu jałowym (n_0) i opada liniowo, aż w prawym dolnym rogu, przy momencie blokującym (MH), osiąga punkt zerowy prędkości obrotowej.

Prędkość obrotową n w obr./min można określić na podstawie częstotliwości f :

$$n = f \cdot 60$$

Jednym ze sposobów określenia momentu obrotowego jest wykorzystanie równania liniowej charakterystyki prędkości obrotowej i momentu obrotowego $n(M)$:

$$n(M) = -\frac{n_0}{M_S} \cdot M + n_0$$

$$n(M) = -\frac{3000}{2,5} \cdot M + 3000$$

Wzór ten przekształcamy w zależności od momentu obrotowego M :

$$M = 2,5 - 2,5 \cdot \frac{n}{3000}$$

Wynik odpowiada momentowi obrotowemu M wyrażonemu w $g \cdot cm$. Konieczne jest przeliczenie na $mN \cdot m$:

$$1 g \cdot cm \approx 0,0981 mN \cdot m$$

Realizacja

- Zmontuj układ eksperymentalny zgodnie ze schematem. Amperomierz należy podłączyć szeregowo z potencjometrem i turbiną wiatrową.
- Woltomierz należy podłączyć równolegle do potencjometru.
- Ustaw odległość 20 cm między wentylatorem a turbiną wiatrową.
- Czujnik Halla podłącza się do Arduino, łącząc zasilanie (VCC do 3,3 V i GND do masy) oraz przewód sygnałowy do pinu 7.
- Uruchamia się program .ino służący do pomiaru okresu obrotu magnesów neodymowych.
- Wykorzystaj wykres zależności prędkości obrotowej od momentu obrotowego przedstawiony na rys. 2, aby określić moment obrotowy M wirnika przy zmierzonej częstotliwości.
- Ustaw odpowiednie wartości rezystancji potencjometru i odczytaj natężenie prądu I na amperomierzu oraz napięcie U na woltomierzu.
- Oblicz moc elektryczną P_{el} .
- Wprowadź wyniki pomiarów do poniższej tabeli.
- Zwiększ odległość do 30 cm i przeprowadź te same pomiary. Wprowadź wyniki pomiarów do podobnej tabeli.
- Oblicz sprawność układu wirnik-generator dla różnych prędkości wiatru, kierunków wiatru i łopatek wirnika.

Dane pomiarowe

Wentylator na 1. stopniu; odległość między wentylatorem a wirnikiem wynosi 20 cm; wirnik z szerokimi łopatkami

[illegible]

Wentylator na 2. stopniu; odległość między wentylatorem a wirnikiem wynosi 20 cm; wirnik z szerokimi łopatkami

[illegible]

Wentylator na 2. stopniu; odległość między wentylatorem a wirnikiem wynosi 20 cm; wirnik z wąskimi łopatkami

[illegible]

Wentylator na 1. stopniu; odległość między wentylatorem a wirnikiem wynosi 30 cm; wirnik z szerokimi łopatkami

I in mA	U in mV	P _{el} in μ W	T in ms	M in mN·m	P _{mec} in μ W	η_1

Proszę zinterpretować dane pomiarowe. Jakie zależności udało się Państwu odkryć?