

Wyznaczanie optymalnego punktu pracy i charakterystyki obciążenia silników synchronicznych do napędu wentylatorów

Lech Nowak, Jacek Mikołajewicz, Krzysztof Kowalski, Dorota Stachowiak, Łukasz Knypiński, Wojciech Pietrowski
Politechnika Poznańska, Instytut Elektrotechniki i Elektroniki Przemysłowej
60 - 965 Poznań, ul. Piotrowo 3A, e-mail: dorota.stachowiak@put.poznan.pl

Streszczenie - W artykule przedstawiono oprogramowanie do wyznaczania optymalnego punktu pracy układu wentylator-wentylowany system. Program umożliwia wstępne zaprojektowanie magnetoelektrycznego synchronicznego silnika napędowego. Druga funkcja programu polega na określeniu charakterystyki obciążenia, tj zależności momentu oporowego od prędkości obrotowej. Tak wyznaczona charakterystyka może być wykorzystana przy projektowaniu układu sterowania silnikiem.

I. WPROWADZENIE

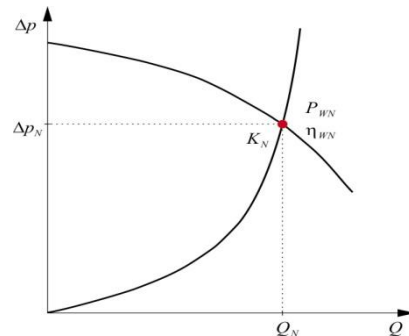
Wśród układów napędowych ogromną część stanowią napędy wentylatorów. Systemy wentylacyjne są stosowane powszechnie w budynkach biurowych, halach sportowo-widowiskowych, tunelach. Jednak największe ich zastosowanie dotyczy przemysłu górniczego. W systemach wentylacyjnych kopalń znajdują zastosowanie tysiące silników elektrycznych o mocach od kilku kilowatów do nawet kilku megawatów. Łączna moc silników zainstalowanych do napędu wentylatorów jest w Polsce liczona w gigawatach. Dlatego właściwy dobór silnika i układu sterowania jest bardzo ważny ze względu na oszczędności energii. Jak do tej pory, większość silników napędowych wentylatorów to silniki indukcyjne. Wyjątek stanowią napędy największych mocy, w których są stosowane silniki synchroniczne. Jednak współcześnie obserwuje się tendencję do zastępowania silników indukcyjnych silnikami synchronicznymi także w układach mniejszych mocy. Szczególnie efektywne są silniki wzbudzone magnesami trwałymi o dużej energii właściwej, np. magnesami Nd-Fe-B. Silniki tego typu zapewniają stałą prędkość obrotową, a więc stały wydatek wentylatora w zadanym okresie czasu. Ponadto, ze względu na brak strat mocy w wirniku charakteryzują się większą sprawnością. Cechują się też znacznie większym współczynnikiem mocy.

Najbardziej ekonomicznym sposobem regulacji wydatku powietrza jest zastosowanie napędu o regulowanej prędkości. Układy sterowania silnikami synchronicznymi są prostsze od układów regulacji silników indukcyjnych. W procesie projektowania lub doboru silnika synchronicznego i układu sterowania tym silnikiem konieczna jest znajomość charakterystyki obciążenia maszyną roboczą jaką jest wentylator, tj. zależności momentu oporowego od prędkości.

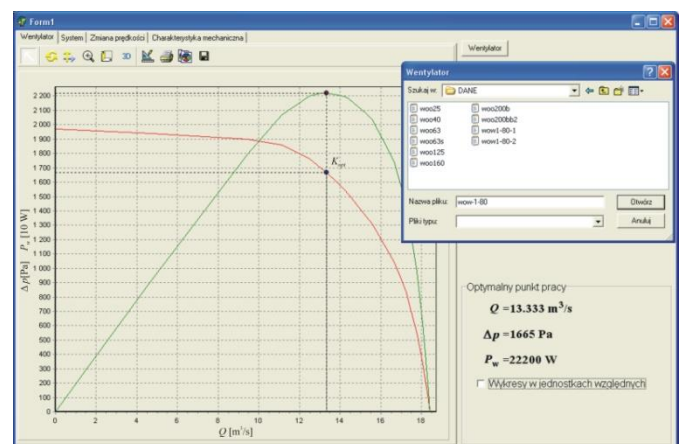
II. PUNKT PRACY SYTEMU WENTYLACYJNEGO

Podstawowym parametrem charakteryzującym wentylator jest jego znamionowa wydajność (wydatek) Q_N [m³/s] przy znamionowej prędkości n_N . Punktem wyjścia przy doborze wentylatora jest wymagana wartość wydatku oraz charakterystyka wentylowanego systemu $Q = Q(\Delta p)$, przy czym Δp jest różnicą ciśnień, tzw. spiętrzeniem wentylatora. Zwykle charakterystyka systemu jest silnie nieliniowa [1,2]; ze wzrostem ciśnienia wzrasta przepływ Q , jednak w potęgze mniejszej niż 1, wzrastają bowiem „opory aerodynamiczne”

(w obliczeniach przybliżonych zakłada się, że $Q \approx \sqrt{\Delta p}$). Zazwyczaj charakterystyka systemu jest przedstawiana w odwróconym układzie współrzędnych, tj. $\Delta p = f(Q)$ – rys. 1. W tym samym układzie współrzędnych podawana jest także charakterystyka maszyny przepływowej (wentylatora). W tym przypadku, różnica ciśnień pomiędzy obiema stronami pracującego ze stałą prędkością wentylatora maleje wraz ze zmniejszaniem się oporów aerodynamicznych wentylowanego systemu, tzn. ze wzrostem przepływu Q . Charakterystyka wentylatora $\Delta p = f(Q)$ jest więc krzywą opadającą (rys.1). Punkt K_N przecięcia się charakterystyki wentylatora i charakterystyki systemu wyznacza stan pracy układu wentylator-wentylowany system (czyli układu „źródło-odbiornik”). Moc wyjściowa wentylatora jest równa iloczynowi spiętrzenia i wydatku $P_w = \Delta p \cdot Q$ [2]. Gdy $Q = 0$ lub $\Delta p = 0$, to moc $P_w = 0$. Istnieje więc optymalny punkt pracy $K_{opt}(Q_{opt}, \Delta p_{opt})$, w którym wentylator charakteryzuje się maksymalną mocą – rys. 2.



Rys. 1. Wyznaczanie punktu pracy układu wentylator-obiekt przewietrzany



Rys. 2. Wprowadzanie i wykreślanie charakterystyki wentylatora

Znamionowa moc silnika napędowego:

$$P_N = \frac{P_{wN}}{\eta_{wN}} = \frac{\Delta p_N \cdot Q_N}{\eta_{wN}} \quad (1)$$

zaś jego znamionowy moment obrotowy:

$$T_N = \frac{P_{wN}}{\omega_N \cdot \eta_{wN}} = \frac{Q_N \cdot \Delta p_N}{\omega_N \cdot \eta_{wN}} \quad (2)$$

przy czym ω_N , η_{wN} – znamionowa prędkość kątowna i znamionowa sprawność wentylatora.

Wentylator powinien być tak dobrany do systemu by jego znamionowy punkt pracy odpowiadał maksymalnej wydatkowanej mocy. Wówczas z zależności (1) i (2) wyznacza się moc znamionową i moment silnika napędowego.

III. WYZNACZANIE CHARAKTERYSTYKI OBCIĄŻENIA

Rozważania dotyczą napędów do wentylatorów o regulowanym wydatku – poprzez zmianę prędkości obrotowej silnika napędowego. Wydatek wentylatora jest przy zachowaniu stałego spiętrzenia proporcjonalny do prędkości obrotowej natomiast spiętrzenie – do kwadratu prędkości [1,2]:

$$Q = \frac{\omega}{\omega_N} Q_N \quad \Delta p = \left(\frac{\omega}{\omega_N} \right)^2 \Delta p_N \quad (3)$$

Na tej podstawie można wyznaczyć charakterystykę wentylatora oraz punkt pracy układu dla dowolnej, różnej od znamionowej prędkości obrotowej. Na rys. 3 przedstawiono rodzinę charakterystyk dla $\omega = \omega_N$ oraz $\omega = 0,9; 0,8; 0,7$ i $0,6 \omega_N$. Punkty przecięcia się krzywych z charakterystyką systemu wyznaczają stany pracy układu dla tych prędkości.

Jeżeli przyjąć, że opory aerodynamiczne są proporcjonalne do prędkości, a sprawność wentylatora jest od prędkości niezależna, to z zal. (3) wynika, że moment jest proporcjonalny do kwadratu prędkości. Jednak w realnym układzie wydatek i spiętrzenie zmieniają się swobodnie wraz ze zmianą prędkości obrotowej wentylatora, a relacja pomiędzy tymi parametrami jest zarówno w odniesieniu do wentylatora jak też wentylowanego systemu silnie nieliniowa [1,2].

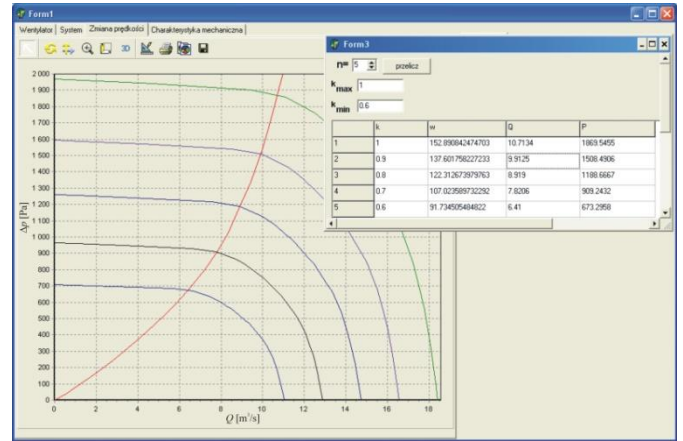
W celu wyznaczenia charakterystyki $T_m(\omega)$ obciążenia maszyną roboczą jaką dla silnika jest wentylator opracowano w środowisku Borland Delphi program, który umożliwia:

- wprowadzenie danych (np. z pliku) opisujących charakterystyki wentylatora i systemu – rys. 2 i 3;
- wykreślenie charakterystyk wentylatora: $\Delta p = f(Q)$, $P_w = f(Q)$ i wyznaczenie punktu optymalnego – rys. 2;
- wyznaczenie rodziny charakterystyk wentylatora dla wybranego przedziału zmian prędkości obrotowej oraz wyznaczenie zbioru $\{Q_i, \Delta p_i\}$ punktów pracy – rys. 3;
- wyznaczenie i wykreślenie charakterystyki obciążenia silnika $T_m(\omega)$ – rys. 4.

W opracowanym programie punkty (ω_i, T_{mi}) charakterystyki obciążenia wyznacza się wg zależności:

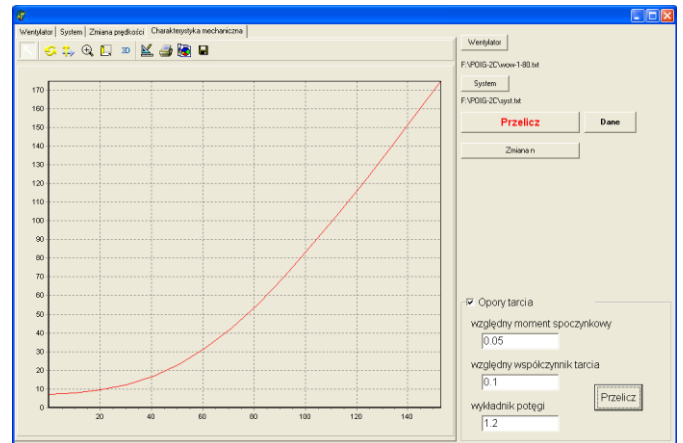
$$T_{mi} = \frac{Q_i \cdot \Delta p_i}{\omega_i} + m_0 \frac{Q_N \cdot \Delta p_N}{\omega_N} + \beta_t \frac{Q_N \cdot \Delta p_N}{\omega_N} \left(\frac{\omega_i}{\omega_N} \right)^q \quad (4)$$

w której $m_0 = \omega_N T_0 / Q_N \cdot \Delta p_N$ – względny spoczynkowy moment tarcia, $\beta_t = \eta_{wN}^{-1} - 1 - m_0$ – względny współczynnik tarcia, q – wykładnik charakteryzujący zależność momentu tarcia od prędkości.



Rys. 3. Wyznaczanie charakterystyk dla różnych prędkości obrotowych

Przykładowa, wyznaczona w powyższy sposób charakterystyka obciążenia została pokazana na rysunku 4.



Rys. 4. Charakterystyka obciążenia $T_m(\omega)$

IV. PODSUMOWANIE

Opracowane oprogramowanie do wyznaczania optymalnego punktu pracy układu wentylator-wentylowany system można zastosować w procesie projektowania silnika napędowego. Umożliwia ono także wyznaczanie charakterystyki obciążenia $T_m(\omega)$, która może być wykorzystywana przy projektowaniu układu sterowania silnikiem.

LITERATURA

- [1] Gundlach W. R., Podstawy maszyn przepływowych i ich systemów energetycznych, WNT, Warszawa, 2008.
- [2] Szklarski L., Skalny A., Strycharz J., Dynamika i sterowanie stacjonarnych napędów elektrycznych w górnictwie, PWN, Warszawa, 1984.

DETERMINING THE OPTIMAL WORKING POINT AND THE LOADING CHARACTERISTIC OF SYNCHRONOUS MACHINE FOR FAN DRIVE SYSTEM

In the paper the computer software for determining the optimal working point of electric motors for fan drive systems is presented. The main use of this software is the preliminary designing of permanent magnet synchronous motor for such type of drives. The second task of the software is determining the load characteristic of the fan system, i.e. relationship between loading torque and rotational speed. The obtained characteristics can be used in the designing of control system for fan drives.