

# Efektywność układów napędowych dużej mocy i średniego napięcia do pomp i wentylatorów

Zbigniew Szulc

## 1. Wstęp

Pojęcie efektywności według słowników i encyklopedii pozwala wyróżnić ok. stu synonimów. W praktyce technicznej elektrycznych układów napędowych często się używa tego pojęcia. Najłatwiej zrozumieć pojęcie efektywności energetycznej, gdyż ściśle jest związane ze sprawnościami poszczególnych elementów układu napędowego. Najprościej chyba przyjąć, że efektywność to rezultat podjętych działań opisany relacją uzyskanych efektów do poniesionych nakładów. Oznacza to najlepsze efekty. To powyższe stwierdzenie często jest przedstawiane w słownikach.

W zależności od zjawisk występujących w konkretnym układzie napędowym można rozpatrywać efektywności, które najbardziej opisują daną aplikację. W praktyce autor stosował do badań następujące efektywności:

- efektywność technologiczną;
- efektywność energetyczną;
- efektywność eksploatacyjną;
- efektywność ekologiczną;
- efektywność ekonomiczną.

Właśnie do układów napędowych pomp i wentylatorów dużej mocy i średniego napięcia takie podejście (przy pomocy pojęć efektywności) pozwalało najlepiej przedstawić właściwości techniczne i ekonomiczne [1].

## 2. Efektywność technologiczna

Ta efektywność należy do najczęściej stosowanych, gdyż ona decyduje, jaki wybrać rodzaj układu napędowego aby spełniał wymagania technologii, w której będzie pracował [2]. Opisany w tej publikacji [2] układ napędowy musiał wykazać się dobrą dynamiką, jeżeli chodzi o regulację podstawowego parametru technologicznego, jakim było ciśnienie wyjściowe pompowni. Zmiana parametrów wejściowych pompowni (ciśnienie, przepływ) nie mogła mieć wpływu na stabilizowane ciśnienie wyjściowe. Ta właściwość napędu była podstawą do prób początkowo koncepcyjnych, a następnie projektowych, wykonawczych i uruchomieniowych.

W układach napędowych wentylatorów często występuje duża wartość momentu bezwładności na wale silnika napędowego. Wynika to z dużych wartości momentu bezwładności na wale silnika napędowego. Wynika to z dużych wartości momentu bezwładności wirników wentylatorów. Ze względów bezpieczeństwa dąży się do szybkiego zatrzymania wentylatorów. Podstawowym zadaniem układu regulacji ciśnienia lub przepływu wentylatorów jest utrzymanie zadanych wartości

tych wielkości lub zmiana w ciągu określonego czasu. Wówczas podstawowe równanie ruchu wału silnika i wirnika wentylatora ma postać:

$$M_m - M_w = J_c \frac{d\Omega}{dt} \quad (1)$$

przy czym:

$M_m$  – moment napędowy silnika;

$M_w$  – moment obciążenia wentylatora;

$J_c$  – moment bezwładności całkowity na wale.

System sterowania układu napędowego na podstawie parametrów danych początkowych schematu zastępczego i mierzonych (prądy, napięcie, częstotliwość wyjściowa przemiennika) tak reguluje prędkością obrotową, aby spełniły się wymagania technologiczne (np. zwiększenie lub zmniejszenie się ciśnienia w zadanym czasie). Aby osiągnąć te wymagania, czasem trzeba dobrać inną topologię układu napędowego. Dopiero po osiągnięciu (na etapie badań i projektu) wymagań założonych można mówić o efektywności technologicznej.

## 3. Efektywność energetyczna

Osiągnięta efektywność technologiczna pozwala na badanie efektywności energetycznej. Celem jest osiągnięcie dużej wartości sprawności całkowitej układu napędowego. Częstym błędem jest szacowanie wartości całkowitej sprawności, posługując się wartościami znamionowymi (silnika, przemiennika częstotliwości), pominięcie dodatkowych strat w sieci zasilającej oraz pominięcie występowania odkształconych przebiegów prądów i napięć. W punkcie pracy układu napędowego sprawności podstawowych elementów wynoszą:

$$\begin{aligned} \eta_{m1} &< \eta_{mN} \\ \eta_{p1} &< \eta_{pN} \end{aligned} \quad (2)$$

Silnik napędowy (sprawność znamionowa  $\eta_{mN}$ ) zasilany z przemiennika częstotliwości ( $\eta_{pN}$  – sprawność znamionowa przemiennika) może mieć wartości sprawności na tyle różne od znamionowej, że koniecznie trzeba uwzględnić te zmiany. Zależą one od częstotliwości wyjściowej przemiennika, kształtu prądu i napięcia. Przemiennik częstotliwości ma też swoją charakterystykę sprawności zależną od obciążenia i częstotliwości wyjściowej. Dopiero uwzględniając te fakty oraz szacując straty

mocy w sieci zasilającej, można dość dokładnie podawać sprawność całego układu napędowego w różnych punktach pracy [3]. Układy napędowe dużej mocy najczęściej pracują dość długo w ciągu roku (6000 h – 8000 h), więc dobrze obliczona wartość sprawności pozwala szacować dość dokładnie straty i ewentualne oszczędności energii elektrycznej.

#### 4. Efektywność eksploatacyjna

Nakłady finansowe związane z dodatkowymi urządzeniami, obsługą, remontami, czasem życia technicznego elementów składowych układu napędowego są jedną z głównych przyczyn poprawnej eksploatacji. Poprawne przewidywania odnośnie do wymagań eksploatacyjnych pozwalają uniknąć wielu awarii. Przykładem mogą być przypadki braku zapasowych filtrów powietrza chłodzącego szafy elektroniczne, energoelektroniczne lub wymiary elementów, które się zużywają po ściśle określonym czasie. Na etapie projektowania wykonawczego dokładnie trzeba przewidzieć system chłodzenia, zasilania energetycznego, remontów planowanych (terminów), uzyskując jak najwięcej danych od producenta urządzeń. Dokładnie przeprowadzone testy FAT (u producenta) i SAT (u użytkownika) mogą znacznie zwiększyć prawdopodobieństwo długotrwałej pracy bez awarii.

#### 5. Efektywność ekologiczna

Tak jak było przyjęte na początku artykułu, nadrzędną właściwością działania była efektywność technologiczna. Badania pozostałych efektywności wynikają z pozostałych efektów, jakie się pojawiają.

Efektywność ekologiczna może być wielkością bardzo wymiarną, jeżeli potrafimy zmierzyć zaoszczędzoną energię elektryczną możliwą do występowania. W jednej z elektrociepłowni krajowych, gdzie paliwem głównym jest węgiel kamienny, wyprodukowanie 1 MWh energii elektrycznej generuje następujące zanieczyszczenia:

$$\begin{aligned} \text{pył} &- 0,06099 \text{ kg} \\ \text{SO}_2 &- 0,03612 \text{ kg} \\ \text{NO}_x &- 1,48509 \text{ kg} \\ \text{CO}_2 &- 0,93101 \text{ t} \end{aligned} \quad (3)$$

Zaoszczędzenie setek MWh energii elektrycznej, a nawet do tysiąca MWh rocznie (np. napędy pomp wody zasilającej w bloku energetycznym 200 MW – jeden napęd z silnikiem 3150 kW i regulacją z przemiennikiem częstotliwości SN tyle zaoszczędzi) pozwala znacznie zmniejszyć zanieczyszczenie środowiska.

Mniejsze napędy, ale pracujące długi czas w ciągu roku, umożliwiają znaczne zmniejszenie zapotrzebowania na energię elektryczną i ograniczają emisje zanieczyszczeń. Oczywiście przy każdym przedsięwzięciu technicznym należy przeprowadzić analizę ekonomiczną.

#### 6. Efektywność ekonomiczna

Jeżeli zastosowanie układu napędowego regulowanego przynosi wymierne korzyści roczne, to można i należy przeprowadzić obliczenia wskaźników ekonomicznych chociaż tych

podstawowych (prosty czas zwrotu – SPBP, DPBP – zdyskontowany czas zwrotu itp.). Aby policzyć te najprostsze wartości (czasy zwrotu nakładów), trzeba znać wartości nakładów –  $K_i$  oraz wartości korzyści  $WRK$  i stopę dyskonta  $i$ .

Na podstawie badań w pracy [4] oszacowano te wartości dla wentylatora powietrza chłodzącego z silnikiem SN (6 kV) o mocy 320 kW i uzyskano:

$$\begin{aligned} K_i &= 810\,000 \text{ PLN} && \text{całkowite nakłady} \\ WRK &= 220\,000 \text{ PLN} && \text{wartość rocznych korzyści} \end{aligned} \quad (3)$$

przy cenie energii elektrycznej 1 MWh – 250 zł

Prosty czas zwrotu:

$$SPBP = \frac{810\,000}{220\,000} = 3,68 \text{ lat} \quad (5)$$

Zdyskontowany czas zwrotu przy  $i = 10\%$

$$DPBP = \frac{\ln\left[\frac{1}{1 - \left(\frac{K_i}{WRK}\right)^i}\right]}{\ln(1+i)} = 4,81 \text{ lat} \quad (6)$$

Wartość  $i$  przyjęto za publikacją [5].


Oszacowane czasy wskazują na dobre przedsięwzięcia pod względem ekonomicznym.

#### 7. Wnioski

Celem artykułu było zwrócenie uwagi na fakty, jakie należy uwzględniać przy badaniu, projektowaniu, uruchamianiu i eksploatacji, aby efektywność całego przedsięwzięcia była dobra. Do oceny zastosowano badanie poszczególnych właściwości układu napędowego, które można oszacować. Takie podejście daje duże prawdopodobieństwo poprawności postępowania pod warunkiem stosowania czasem trudno dostępnych danych. Doświadczenie autora wskazuje, że warto jest włożyć więcej pracy i uzyskać dobre efekty.

#### Literatura

- [1] KOCZARA W., SZULC Z.: *Poprawa sprawności i wytwarzania energii cieplnej poprzez zwiększenie efektywności energetycznej napędów potrzeb własnych dużych mocy*. „Napędy i Sterowanie” 06/2012.
- [2] SZULC Z.: *Efekty zastosowania inteligentnego układu napędowego z przemiennikiem częstotliwości średniego napięcia w pompowni sieci cieplnej*. „Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne” 1/2013.
- [3] KUBERA T., SZULC Z.: *Ocena jakości zasilania silników indukcyjnych z przemiennikiem częstotliwości średniego napięcia*. „Zeszyty problemowe – Maszyny Elektryczne” 1/2014.
- [4] Praca badawcza ISEP PW – Umowa Nr 3139/B/T02/2011/40.
- [5] PASKA J.: *Ekonomika w elektroenergetyce*. Oficyna Wydawnicza PW, 2007.

 dr inż. Zbigniew Szulc – Instytut Sterowania i Elektroniki Przemysłowej, Politechnika Warszawska

artykuł recenzowany