

# Poprawa sprawności wytwarzania energii cieplnej poprzez zwiększenie efektywności energetycznej napędów potrzeb własnych dużych mocy

Włodzimierz Koczara, Zbigniew Szulc

**E**lektrownie i elektrociepłownie produkują energię cieplną i elektryczną. Działanie tych obiektów wymaga pracy urządzeń obsługujących bloki energetyczne. W zależności od mocy tych bloków i metody wytwarzania energii wymagają mniej lub bardziej rozbudowanych urządzeń. Do podstawowych urządzeń niezbędnych do pracy bloku energetycznego należą pompy, wentylatory i młyny. Tego typu urządzenia są charakterystyczne dla obiektów, których energia pierwotna zawarta jest w paliwie spalany w kotle. W krajowym systemie energetycznym istnieje ok. 60 bloków o mocy 200 MW każdy. Moc zainstalowanych układów napędowych w każdym takim bloku wynosi ponad 20 MW. Układy te napędzają w większości maszyny robocze typu przepływowego, a więc pompy, wentylatory i sprężarki. Największe moce jednostkowe tych układów napędowych sięgają wartości od 200 kW do 3150 kW i najczęściej ich napięcie znamionowe wynosi 6 kV.

W [1] podano zestawienie układów napędowych na napięcie 6 kV, zainstalowanych w bloku 200 MW w przykładowej elektrowni krajowej z trzema takimi blokami. Suma mocy znamionowych silników o napięciu znamionowym 6 kV w jednym bloku wynosi 19040 kW, przy czym największe z nich to:

- 3150 kW – do pomp wody zasilającej – 3 szt.;
- 1250 kW – do pompy wody chłodzącej – 1 szt.;
- 850 kW – do wentylatorów spalin – 2 szt.;
- 630 kW – do wentylatorów młynowych – 4 szt.;
- 500 kW – do wentylatorów powietrza – 2 szt.

Silniki te są używane podczas eksploatacji bloku 200 MW (z wyjątkiem rezerwowych).

W artykule zostały przedstawione możliwości zwiększenia efektywności energetycznej układów napędowych z niektórymi z tych silników, poprzez zastosowanie do ich zasilania przemienników częstotliwości średniego napięcia. Efektem może być zwiększenie sprawności energetycznej całego bloku 200 MW. Jeżeli rozpatrzmy tylko wytwarzanie energii elektrycznej przez blok, to jego sprawność energetyczna ( $\eta_e$ ) wyniesie:

$$\eta_e = \frac{E_G - E_W}{E_C} \quad (1)$$

przy czym:

$E_G$  – energia elektryczna wytworzona przez generator;

$E_W$  – energia elektryczna zużyta na potrzeby własne bloku (część energii elektrycznej wytworzonej przez generator);  
 $E_C$  – energia chemiczna zawarta w paliwie (węgiel, ropa naftowa, gaz, biopaliwo).

Wartość energii  $E_W$  to głównie energia elektryczna zużyta przez układy napędowe bloku. Zmniejszenie tej wartości zwiększa wartość sprawności  $\eta_e$ .

## Efektywność energetyczna układu napędowego

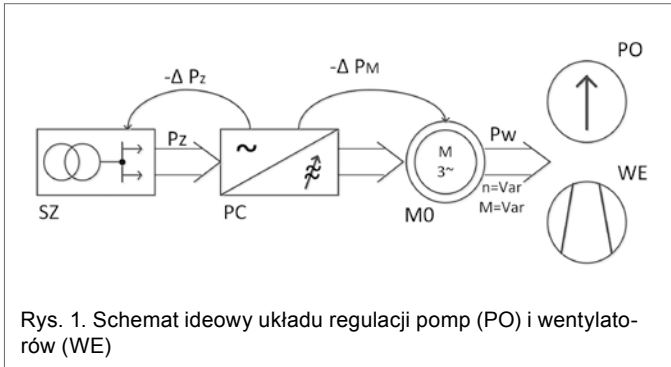
Pojęcie efektywności energetycznej układu napędowego dotyczy jakości przetwarzania energii elektrycznej w energię mechaniczną. Ilościowo efektywność energetyczną można opisać przy pomocy [2]:

- sprawności energetycznej układu napędowego;
- współczynnika odkształcenia prądu pobieranego z sieci zasilającej;
- współczynnika przesunięcia pierwszej harmonicznej prądu zasilającego względem pierwszej harmonicznej napięcia zasilającego;
- współczynnik niesymetrii napięcia zasilającego;
- współczynnik pulsacji prędkości obrotowej silnika.

Wszystkie te wielkości opisują ilościowo zjawiska, które powodują straty mocy w układzie napędowym.

Najbardziej przydatne w praktyce są trzy pierwsze wielkości ze względu na odliczanie ich wartości i pomiary w obiektach rzeczywistych. Na etapie projektowania można obliczyć ich wartości i porównać dla różnych typów układów napędowych [3]. Konieczne są dane od producentów urządzeń. Na rys. 1 został przedstawiony schemat ideowy układu napędowego do regulacji prędkości obrotowej i momentu na wale silnika. Taki układ może służyć do napędu pompy lub wentylatora dużych mocy występujących w bloku 200 MW.

Ze względu na moce silników i ich napięcie znamionowe, przemiennik częstotliwości (PC) posiada też znamionowe napięcie obwodów wejściowych i wyjściowych, średnie (SN) a więc najczęściej 6 kV. Najlepszym typem takiego przemiennika częstotliwości jest taki, który kształtuje przebiegi prądów i napięć wejściowych dobrze zbliżonych do sinusoidy. Na rys. 1 został przedstawiony schemat ideowy układu regulacji pomp (PO) i wentylatorów (WE). Układy ten najczęściej służy do re-



Rys. 1. Schemat ideowy układu regulacji pomp (PO) i wentylatorów (WE)

gulacji parametrów wyjściowych pomp i wentylatorów (regulacja ciśnienia, natężenia przepływu) dzięki sterowaniu prędkością obrotową silnika (M0).

Jako przykład efektów tej regulacji rozpatrzono poniżej dwa układy dużej mocy, pracujące w bloku energetycznym 200 MW. Jeden przykład to napęd pompy wody zasilającej, a drugi to napęd wentylatora spalin w tym samym bloku.

### Przykłady poprawy efektywności układów napędowych bloku energetycznego 200 MW

W bloku 200 MW są zainstalowane trzy zespoły napędowe do pomp wody zasilającej. Silniki do tych pomp posiadają moc znamionową 3150 kW przy napięciu znamionowym 6 kV. Najczęściej pompy te są regulowane za pomocą sprzęgła hydrokinetycznego, które przy prędkościach obrotowych pomp w granicach połowy ich prędkości znamionowej posiadają niską sprawność (rzędu 60%). W pracy [1] oszacowano oszczędności mocy i energii dla jednego zespołu silnik-sprzęgło hydrokinetyczne – pompa w funkcji mocy wyjściowej generatora bloku 200 MW i po zastosowaniu przemiennika częstotliwości. Na rys. 2 zostały przedstawione przebiegi mocy zużytej przez dany typ układu napędowego w funkcji mocy wyjściowej generatora bloku 200 MW.

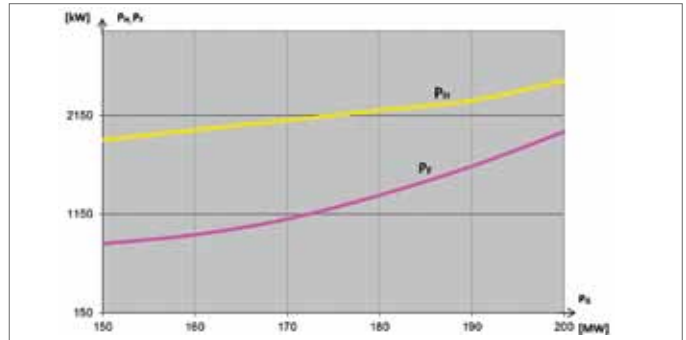
Na rys. 3 zostały przedstawione różnica mocy, która mówi o oszczędności mocy zużytej przez układ napędowy pompy wody zasilającej, po modernizacji polegającej na zastosowaniu przemiennika częstotliwości średniego napięcia i silnika i prędkości znamionowej równej prędkości znamionowej pompy.

Efekty oszczędności [1] zużycia mocy przez układ napędowy wentylatora spalin zostały przedstawione na rys. 4 i rys. 5.

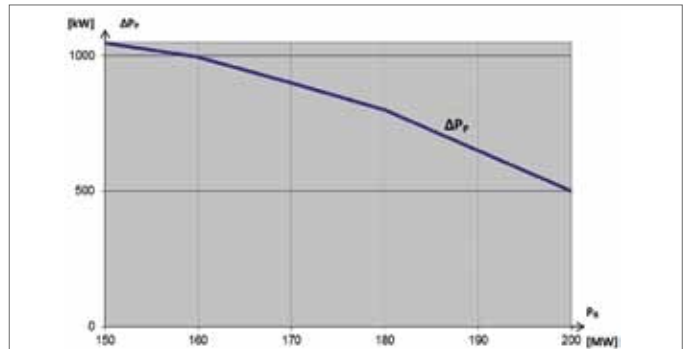
Podobnie jak w poprzednim przykładzie, efekt oszczędności mocy zależy od mocy wyjściowej bloku. Wartość tego efektu zmienia się pomiędzy wartościami 100 kW i 160 kW. Oszczędność mocy po zastosowaniu przemiennika częstotliwości jest możliwa także dla wentylatorów młynowych, wentylatorów powietrza i pomp wody chłodzącej.

Należy jeszcze: zauważyć, że w przykładach powyższych uwzględniono tylko oszczędność mocy wynikającą tylko z regulacji prędkości obrotowej maszyny napędowej. Zastosowanie przemiennika częstotliwości średniego napięcia o właściwościach:

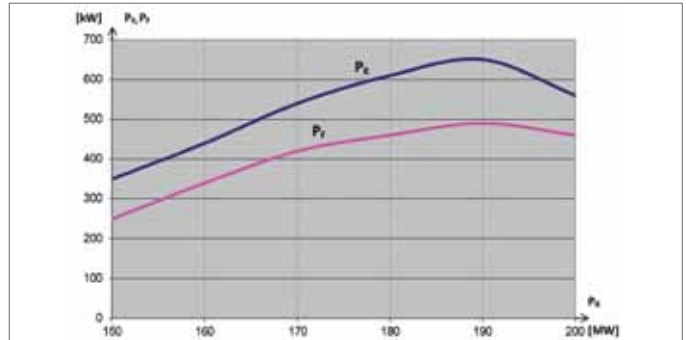
- przebiegów wyjściowych prądów i napięć dobrze zbliżonych do sinusoidalnych (THDI < 0,08, THDU < 0,06);
- przebiegów wejściowych prądów i napięć o parametrach j.w.;
- poborze prądu zasilającego o przesunięciu fazowym ( $\phi$ ) w stosunku do napięcia zasilającego takim, że:  $\cos \phi \geq 0,92$



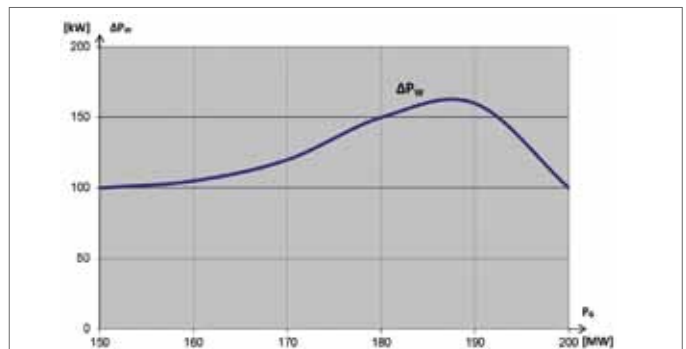
Rys. 2. Zależność mocy zużytej przez układ napędowy ze sprzęgłem hydrokinetycznym ( $P_H$ ) i przez układ napędowy z przemiennikiem częstotliwości ( $P_F$ ) w funkcji mocy wyjściowej generatora ( $P_G$ ), dla pompy wody zasilającej



Rys. 3. Moc zaoszczędzona po zastosowaniu przemiennika częstotliwości do układu napędowego pompy wody zasilającej



Rys. 4. Zależność mocy zużytej przez układ napędowy wentylatora spalin przy regulacji kątem ustawienia łopatek wentylatora ( $P_K$ ) i po zastosowaniu przemiennika częstotliwości ( $P_F$ ) w funkcji mocy wyjściowej generatora ( $P_G$ )



Rys. 5. Moc zaoszczędzona przez układ napędowy wentylatora spalin po zastosowaniu przemiennika częstotliwości

daje w efekcie dodatkowe oszczędności mocy ze względu na:

- mniejsze straty mocy w rezystancjach silnika;
- mniejsze straty mocy w obwodzie magnetycznym silnika;
- mniejsze straty mocy mechaniczne silnika;
- mniejsze straty mocy w obwodzie zasilającym układ napędowy.

Uwzględniając te właściwości można oszacować całkowity zysk (oszczędność) mocy bloku energetycznego (200 MW) pracującego w zakresie obciążeń (180 MW – 200 MW) na ok. 3000 kW. Przy pracy bloku w ciągu roku  $\Delta t = 7000$  h, zaoszczędzona energia wyniesie:

$$\Delta E = 3000 \text{ kW} \cdot 7000 \text{ h} = 21000000 \text{ kWh}$$

$$\Delta E = 21000 \text{ MWh}$$

Należy zaznaczyć, że istotną rolę odgrywa też zmniejszenie zanieczyszczeń. W rozpatrywanym bloku 200 MW przy wyprodukowaniu 1 MWh powstaje:

- pył: 0,06099 kg;
- SO<sub>2</sub>: 0,03612 kg;
- NO<sub>x</sub>: 1,48509 kg;
- CO<sub>2</sub>: 0,93101 Mg.

Stąd wynika, że zastosowanie regulowanych układów napędowych maszyn roboczych typu pomp i wentylatora, obniża koszt produkcji i zmniejsza zanieczyszczenie środowiska.

Rozpatrując zależność (1) w postaci:

$$\eta_e = \frac{E_G - E_W}{E_C} \quad (2)$$

$$\eta_e = \frac{E_G}{E_C} - \frac{E_W}{E_C} \quad (3)$$

Przyjmując, że potrzeby własne ( $E_W$ ) uda się, dzięki zastosowaniu przemienników częstotliwości, zmniejszyć o 3 %, wówczas można napisać:

$$\eta_{el} = \frac{E_G - (E_W - E_O)}{E_C} \quad (4)$$

Przy czym:

$\eta_{el}$  – sprawność energetyczna po zmniejszeniu potrzeb własnych o  $E_O$

$E_O$  – energia potrzeb własnych zaoszczędzona przez zastosowanie przemienników częstotliwości średniego napięcia.

Po przekształceniu (4) otrzymuje się:

$$\eta_{el} = \eta_N + \eta_b \cdot k_o \quad (5)$$

$\eta_N$  – sprawność netto bloku;

$\eta_b$  – sprawność brutto bloku.

$$k_o = \frac{E_O}{E_G} \quad (6)$$

Tak jak stwierdzono powyżej, że jeżeli uda się zaoszczędzić 3% tzn.

$$k_o = \frac{E_O}{E_G} = 0,03 \quad (7)$$

to przyrost sprawności bloku wyniesie:

$$\Delta \eta > 1\% \quad (8)$$

## Podsumowanie i wnioski

Przedstawione powyżej szacunkowe obliczenia pokazują orientacyjnie możliwości poprawy sprawności bloku energetycznego 200 MW. Dla podanych przykładowych warunków to:

- zaoszczędzona energia dla czasu pracy bloku w ciągu roku  $\Delta t = 7000$  h wyniesie 21000 MWh;
- zmniejszenie zanieczyszczeń w roku:
  - 1281 kg pyłu,
  - 758 kg SO<sub>2</sub>,
  - 31197 kg NO<sub>y</sub>,
  - 19551 kg CO<sub>2</sub>,
- mniej wymierne efekty to automatyzacja układów napędowych bloku, łatwiejsza praca urządzeń, mniejsze zużycie urządzeń i maszyn.

Należy zaznaczyć, że są to szacunkowe obliczenia. Efekty dotyczą głównie zmniejszenia zużycia energii przez maszynę roboczą. W rzeczywistości przemiennik częstotliwości o właściwościach przedstawionych powyżej, pozwala jeszcze więcej zaoszczędzić energii. Na rys. 1 symbolicznie przedstawiono oddziaływanie przemiennika na silnik napędowy (MO) oraz sieć zasilającą (SZ). Oddziaływanie to zaznaczono jako  $\Delta P_Z$  i  $\Delta P_M$  o zmniejszenie strat w silniku i sieci zasilającej.

Podobnie parametrów silników napędowych i czasu pracy bloku przy różnym obciążeniu pozwala zwiększyć przewidywane oszczędności jeszcze bardziej.

## Literatura

- [1] SROKA S.: *Analiza modernizacji układów napędowych na bloku 200 MW*. Warszawa 2002, Praca dyplomowa inż., Instytut Sterowania i Elektroniki Przemysłowej Politechniki Warszawskiej.
- [2] KOCZARA W., SZULC Z., PRZYBYLSKI J.: *Rozruch silnika indukcyjnego klatkowego napędzającego pompę dużej mocy w trudnych warunkach eksploatacyjnych*. Zeszyty problemowe Nr 75/2005. Maszyny Elektryczne. Katowice, maj 2005, KOMEL.

Włodzimierz Koczara, Zbigniew Szulc –  
ZAKŁAD NAPĘDU ELEKTRYCZNEGO;  
Instytut Sterowania i Elektroniki Przemysłowej  
Politechniki Warszawskiej