

**Henryk Banach**  
**Politechnika Lubelska, Lublin**

## WSPÓŁCZYNNIK MOCY I SPRAWNOŚĆ INDUKCYJNYCH SILNIKÓW JEDNOFAZOWYCH W WARUNKACH PRACY OPTYMALNEJ

### POWER FACTOR AND EFFICIENCY OF INDUCTION SINGLE PHASE MOTORS IN ANY OPTIMAL OPERATING CONDITIONS

**Streszczenie:** Praca optymalna silnika definiowana jest jako praca z najwyższą możliwą sprawnością i użytkowana jest przez dobór optymalnej wartości napięcia zasilającego do aktualnego obciążenia. Przeprowadzone badania wskazują, że w silnikach zasilanych napięciem optymalnym następuje wzrost sprawności w porównaniu z pracą przy napięciu znamionowym, szczególnie przy mniejszych obciążeniach. W warunkach pracy optymalnej współczynnik mocy zachowuje praktycznie stałą wartość tak jak w silnikach trójfazowych. Z przedstawionych badań wynika, że przy pracy optymalnej analizowane wielkości zachowują się podobnie w silnikach jednofazowych jak i trójfazowych

**Abstract:** Optimal operation of a motor is defined as working with the highest possible efficiency and obtained by the choice of the optimal value of the supply voltage to the current load. Studies indicate that the motors supplied with optimal voltage show increase of efficiency in comparison with the work at rated voltage, particularly for smaller loads. In conditions of optimal work the optimum power factor retains practically a constant value as in three-phase motors. The research shows that at optimal operation the analyzed parameters behave similarly in single-phase motors and in three-phase ones.

**Słowa kluczowe:** indukcyjne silniki jednofazowe, praca optymalna, optymalny współczynnik mocy

**Keywords:** single-phase induction motors, optimal operation, optimal power factor

#### 1. Wstęp

Pracę optymalną silnika elektrycznego definiuje się jako pracę z minimalnymi stratami mocy dla aktualnego obciążenia. W praktyce realizowana jest ona przez dopasowanie napięcia zasilającego do występującego obciążenia silnika poprzez zastosowanie odpowiednio sterowanych przemienników częstotliwości. W przypadku indukcyjnych silników trójfazowych ukazało się już wiele publikacji i opracowań, które analizowały ich pracę w warunkach pracy optymalnej. Natomiast w odniesieniu do indukcyjnych silników jednofazowych tych publikacji jest naprawdę niewiele, np. [7,8]. Niniejszy artykuł wypełnia tę lukę i prezentuje wyniki pomiarów wykonane na dwóch silnikach jednofazowych klatkowych zasilanych regulowanym napięciem sinusoidalnym [5]. Analiza parametrów tych silników przy pracy optymalnej wskazuje na ich podobne zachowanie jak w przypadku silników trójfazowych.

#### 2. Dane znamionowe badanych maszyn

Do badań użyto silnika jednofazowego z kondensatorową fazą rozruchową o danych:

Typ SZJFB 24b

$P_N = 1,1 \text{ kW}$ ,  $U_N = 220 \text{ V}$

$I_N = 10,8 \text{ A}$ ,  $n_N = 1450 \text{ obr/min.}$ ,  $\cos\varphi_N = 0,65$

Druga maszyna to silnik z kondensatorową fazą pomocniczą wyposażony w kondensator rozruchowy i kondensator pracy:

Typ SEg 90-4LF

$P_N = 1,3 \text{ kW}$ ,  $U_N = 220 \text{ V}$

$I_N = 8,8 \text{ A}$ ,  $n_N = 1370 \text{ obr/min.}$ ,  $\cos\varphi_N = 0,92$

kondensator rozruchowy  $90 \mu\text{F}/450 \text{ V}$

kondensator pracy  $40 \mu\text{F}/450 \text{ V}$

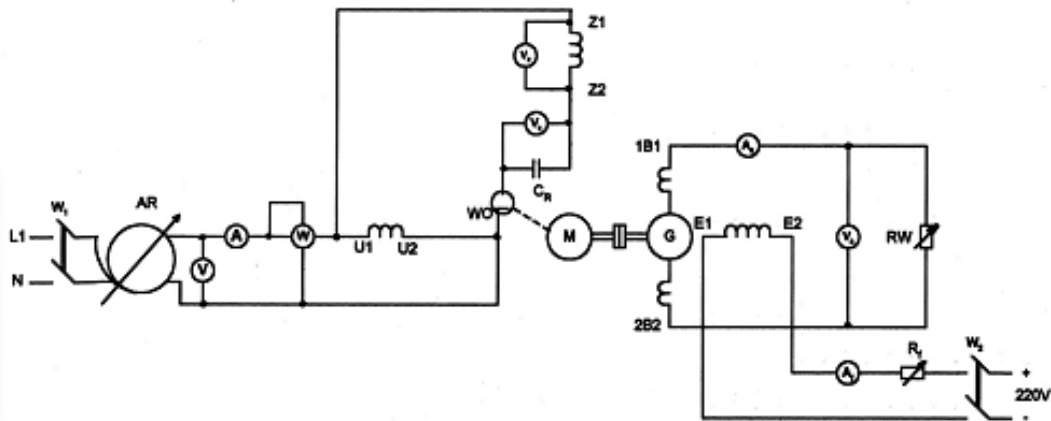
Próbie obciążenia tego silnika przeprowadzono zasilając fazę główną i fazę pomocniczą. Badane silniki obciążane były wycechowaną hamownicą prądu stałego o następujących danych znamionowych:

Typ PZMb44b

$P_N = 1,5 \text{ kW}$ ,  $U_N = 220 \text{ V}$

$I_N = 6,5 \text{ A}$ ,  $n_N = 1450 \text{ obr/min.}$

$I_{rN} = 0,42 \text{ A}$



Rys.1. Schemat układu pomiarowego do badania sprawności indukcyjnego silnika jednofazowego z fazą rozruchową kondensatorową o mocy  $P_N = 1,1 \text{ kW}$

### 3. Układ pomiarowy dla silnika jednofazowego o mocy $P_N = 1,1 \text{ kW}$

Układ pomiarowy niezbędny do przeprowadzenia badań silnika z fazą rozruchową kondensatorową w warunkach pracy optymalnej został przedstawiony na rys.1. Badane silniki obciążane były wycechowaną hamownicą prądu stałego. Wykonano kilka serii pomiarów dla przyjętych stałych wartości mocy pobieranej przez silnik z sieci, którą kontrolowano przy pomocy watomierza. W trakcie tych pomiarów zmieniano wartość napięcia zasilającego w założonym obszarze. Pojawiające się zmiany mocy pobieranej wynikające ze zmian napięcia zasilającego i związanych z nimi zmianami poślizgu, korygowane były poprzez zmiany obciążenia hamownicy.

Sprawność silnika wyznaczano wg opracowanej metody przedstawionej w [6], korzystając z zależności:

$$\eta = \frac{P}{P_{in}} \quad (1)$$

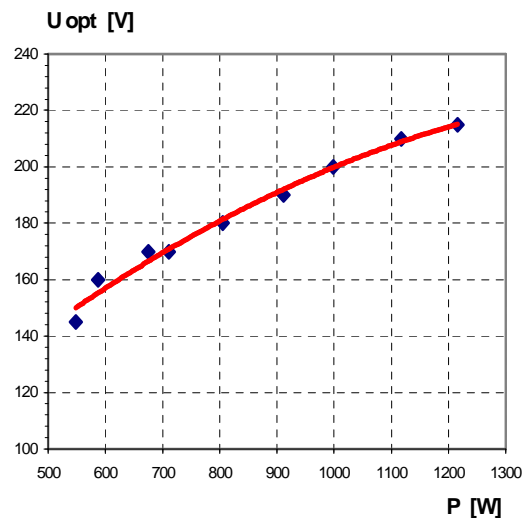
gdzie:  $P$  jest mocą wydawaną przez silnik;  $P_{in}$  mocą pobieraną z sieci równą  $P_{in} = const$ .

Z każdej serii pomiarów wybierano punkt optymalnej pracy określony najwyższą wartością sprawności. Odpowiadająca temu punktowi wartość napięcia była napięciem optymalnym. Na podstawie pomiarów przeprowadzonych dla kilku wartości mocy pobieranej, można było sporządzić wykresy napięcia optymalnego w funkcji mocy obciążenia jak

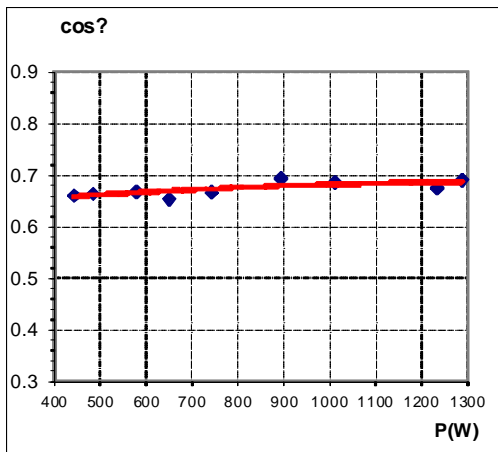
również współczynnika mocy w warunkach pracy optymalnej.

#### 3.1. Charakterystyki napięcia optymalnego i współczynnika mocy

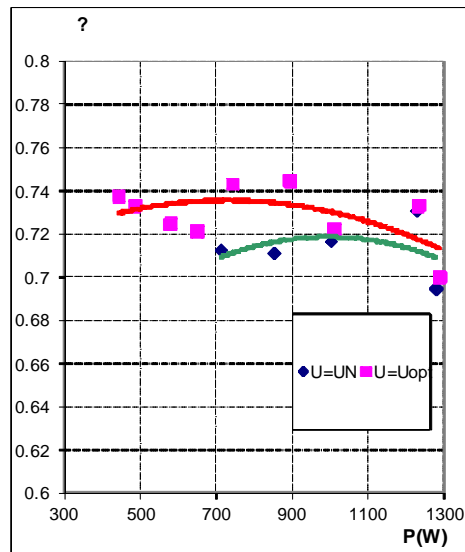
Dla przebadanego silnika otrzymano przedstawioną poniżej charakterystykę napięcia optymalnego.



Rys.2. Charakterystyka napięcia optymalnego dla silnika z fazą rozruchową  $P_N=1,1 \text{ kW}$



Rys3. Charakterystyka współczynnika mocy  $\cos\phi$  w warunkach pracy optymalnej dla silnika z fazą rozruchową  $P_N=1,1$  kW



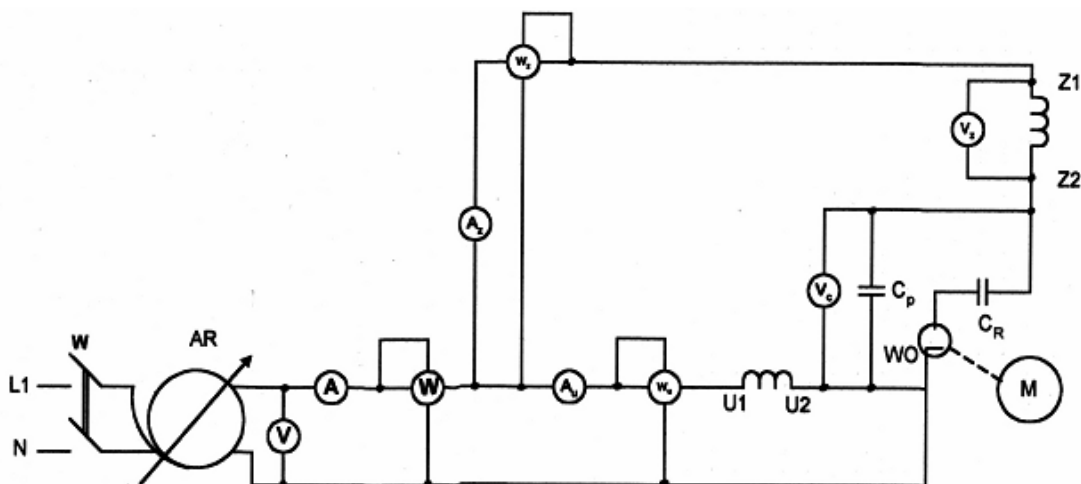
Rys4. Charakterystyka sprawności przy zasilaniu napięciem znamionowym i napięciem optymalnym dla silnika z fazą rozruchową  $P_N=1,1$  kW

Przy pracy optymalnej współczynnik mocy przybiera praktycznie stałą wartość, rys.3.

### 3.2. Porównanie sprawności w różnych warunkach pracy

Ponieważ praca optymalna ma zapewnić pracę z najwyższą sprawnością należało dokonać porównania sprawności silnika zasilanego napięciem o wartości znamionowej oraz napięciem optymalnym.

Powyższy wykres na rys.4 obrazuje różnice w sprawności silnika z widocznym efektem poprawy sprawności przy zasilaniu silnika napięciem optymalnym.



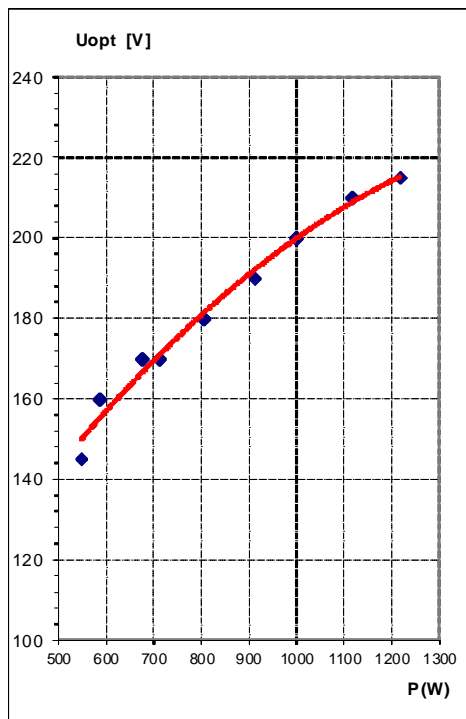
Rys.5. Schemat układu pomiarowego do badania sprawności indukcyjnego silnika jednofazowego z fazą pomocniczą kondensatorową o mocy  $P_N = 1,3$  kW

#### 4. Układ pomiarowy do badania silnika o mocy $P_N = 1,3 \text{ kW}$

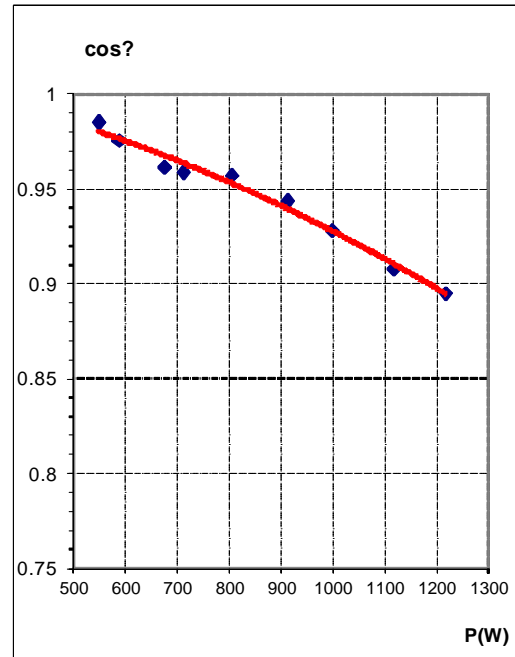
Na rys.5 przedstawiono schemat układu pomiarowego do badania silnika z pomocniczą fazą kondensatorową. Silnik ten pracując w takim układzie staje się silnikiem dwufazowym ze względu na zasilaną fazę główną i pomocniczą. Interesującym będzie, jak będą się zachowywały badane parametry przy pracy optymalnej tego silnika.

##### 4.1. Charakterystyki napięcia optymalnego i współczynnika mocy

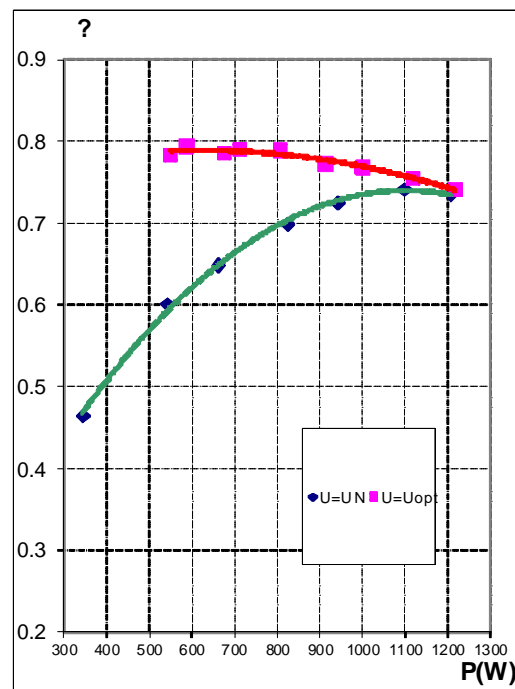
Badany silnik był obciążony hamownicą prądu stałego. Dla kilku wartości mocy pobieranej przeprowadzono pomiary sprawności silnika dla zmieniających się wartości napięcia zasilającego. Na podstawie obliczeń wyznaczono punkty pracy optymalnej. Odpowiadające im wartości napięć przedstawiono na rys.6, natomiast wartości współczynnika mocy  $\cos\varphi$  przy pracy optymalnej na rys. 7.



Rys.6. Charakterystyka napięcia optymalnego dla silnika z fazą pomocniczą kondensatorową  $P_N = 1,3 \text{ kW}$

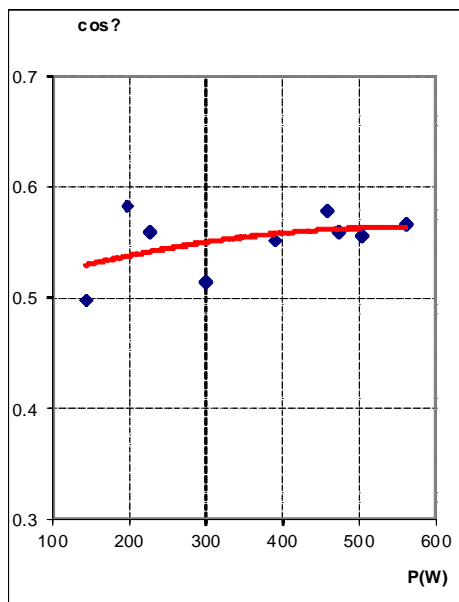


Rys.7. Charakterystyka współczynnika mocy  $\cos\varphi$  w warunkach pracy optymalnej dla silnika z fazą pomocniczą kondensatorową o mocy  $P_N = 1,3 \text{ kW}$



Rys.8. Charakterystyki sprawności przy zasilaniu napięciem znamionowym i napięciem optymalnym dla silnika z fazą pomocniczą kondensatorową  $P_N = 1,3 \text{ kW}$

Należy zwrócić uwagę na odmienne zachowanie się współczynnika mocy przy pracy dwufazowej. Wzrost obciążenia przy pracy optymalnej powoduje, że współczynnik mocy nieznacznie zmniejsza swoją wartość. Jego zachowanie jest odmienne niż w przypadku zasilanej tylko jednej fazy głównej, kiedy to wartość współczynnika mocy niewiele rośnie przy wzroście obciążenia, rys.3 i rys.9.



Rys.9. Charakterystyka współczynnika mocy  $\cos\phi$  w warunkach pracy optymalnej dla silnika z fazą pomocniczą kondensatorową  $P_N = 1,3 \text{ kW}$  przy zasilanej tylko fazie głównej

Przeprowadzono dodatkowo próbę obciążenia silnika 1,3 kW z zasilaną tylko fazą główną. Faza pomocnicza została wyłączona. Dla pracy optymalnej otrzymano wykres  $\cos\phi$  przedstawiony na rys.9. Wartość współczynnika mocy w zależności od mocy obciążenia praktycznie się nie zmienia. Moc maksymalna w tym przypadku uległa zmniejszeniu ze względu na wyłączenie z pracy fazy pomocniczej.

## 5. Wnioski końcowe

Przeprowadzone badania silników jednofazowych pozwalają na ocenę wybranych parametrów w warunkach pracy optymalnej i ich porównanie z zachowaniem się tychże parametrów w indukcyjnych silnikach trójfazowych.

- Zmiany wartości napięć optymalnych w zależności od obciążenia przebiegają podobnie dla obu rodzajów silników czyli rosną w miarę wzrostu obciążenia.
- Silniki jednofazowe zasilane napięciem optymalnym wykazują znaczny wzrost sprawności, tym większy im mniejsza jest moc obciążenia podobnie jak to jest w silnikach trójfazowych.
- Wartości współczynników mocy w silnikach jednofazowych zmieniają się tak nieznacznie, że można uznać je za praktycznie stałe, niezależne od obciążenia podobnie jak ma to miejsce w silnikach trójfazowych [1,2,3,4].
- W przypadku silnika z zasilaną główną i pomocniczą fazą kondensatorową współczynnik mocy przy pracy optymalnej nieznacznie zmniejsza swoją wartość dla rosnących mocy obciążenia. Takie zachowanie tego parametru wynika przypuszczalnie z obecności fazy pomocniczej współpracującej z szeregowo połączonym kondensatorem. Również w tym przypadku można jednak uznać, że współczynnik mocy dla pracy optymalnej zachowuje praktycznie stałą wartość.

## 7. Literatura

- [1] Banach H.: Minimalizacja strat mocy w trójfazowych silnikach indukcyjnych pracujących ze zmiennym obciążeniem. Politechnika Lubelska Lublin 2013
- [2] Banach H.: Współczynnik mocy indukcyjnego silnika klatkowego pracującego z minimalnymi stratami. Proceedings of XL International Symposium on Electrical Machines SME 2004, Hajnówka 15-18.06.2004, s.56-57
- [3] Abrahamsen F. at al.: On the Energy Optimized Control of Standard and High-Efficiency Induction Motors in CT and HVAC Applications. IEEE Transactions on Industry Applications, Vol.34, No.4, 1998, p.822-831
- [4] Kaźmierkowski M.P., Krishnen R, Blaabjerd F. Control in Power Electronics. Academic Press-USA, 2002
- [5] Trykacz D.: Badania laboratoryjne sprawności i współczynnika mocy jednofazowych silników indukcyjnych. Praca dyplomowa –Politechnika Lubelska - Lublin 2010: opiekun pracy dr inż. H.Banach
- [6] Banach H.: Pomiary mocy obciążenia silników elektrycznych z użyciem hamownicy prądu stałego. Pomiary, Automatyka, Kontrola, nr 5/2009, s.310 – 313

- [7] Asadabadi Y.A., Markadeh G.R.A., Heidar R.: Efficiency control of single phase induction motor drive. *2011 International Aegean Conference on Electrical Machines and Power Electronics (ACEMP)*, p.352 – 356
- [8] Zahedi B., Vaez-Zadeh S.: Efficiency optimization control of single-phase induction motor drive. *IEEE Transaction on Power Electronics*, 2009 I-4, Vol-24, p. 1062 - 1070

**Autor:**

dr hab. inż. Henryk Banach  
Katedra Napędów i Maszyn Elektrycznych  
Wydział Elektrotechniki i Informatyki  
Politechniki Lubelskiej  
ul. Nadbystrzycka 38 A 20-618 Lublin  
e-mail: h.banach@pollub.pl