

Wojciech G. Zieliński
Politechnika Lubelska, Lublin

PORÓWNANIE WSKAŹNIKÓW ENERGETYCZNYCH PRZY ENERGOOSZCZĘDNEJ PRACY SILNIKA KLATKOWEGO, REALIZOWANEJ PRZEZ SKOKOWĄ REGULACJĘ NAPIĘCIA

A COMPARISON OF THE ENERGY INDICES IN LOW-ENERGY OPERATION OF A SQUIRREL-CAGE MOTOR, ACHIEVED IN STEPS THROUGH REGULATION OF THE SUPPLY VOLTAGE

Abstract: Economic effectiveness of the operation of a propulsion system depends on energy indices of motors. Along with the type of operation, the load can vary greatly.

Most induction motors operate at load which is considerably lower than their nominal load. Operation at small load or idle run has an adverse effect, when energy indices of the motor, such as power factor and energy efficiency, are very low. There is a need to improve these indices and establish conditions for optimum motor operation. If the motor's load is lower than its nominal load, supply voltage should be lowered to make the energy indices as high as possible. Thus, supplying the motor with voltage which varies depending on the degree of load brings positive results. At nominal load, the motor must be supplied with nominal voltage, however, as the load decreases, the voltage should be accordingly lowered. Lowering the supply voltage will result in decreased energy losses, which are connected with it, as well as increased energy efficiency and power factor. This leads to lower power consumption and thus to saving electric energy.

The paper presents transients of current supplied from the mains, the power factor, and motor energy efficiency for various degrees of voltage changes ensuring the motor's low-energy operation.

1. Wstęp

Maszyny robocze, które pracują przy stałej prędkości obrotowej (np. turbosprężarki) powinny być napędzane nowoczesnymi silnikami o podwyższonej sprawności (energooszczędnymi) i o obniżonej emisji drgań i hałasu. Napędy, które ze względów technologicznych mogą pracować w układzie dwustanowym załącz-wyłącz, można projektować stosując silniki, które są przystosowane do częstych rozruchów. Inne napędy należy rozwiązywać jako energooszczędne.

Wszędzie tam, gdzie nie uwzględniano zużycia energii elektrycznej silnik mógł pracować ze stałą prędkością obrotową. W napędach tych instalowano silniki indukcyjne klatkowe zasilane bezpośrednio z sieci energetycznej, a regulacja wydajności dokonywana była po stronie maszyny roboczej. Opracowywano nowe serie silników indukcyjnych zmniejszając ich masę przy zachowaniu tych samych parametrów znamionowych. W latach 80-tych XX wieku zaczęto zwracać większą uwagę na ochronę środowiska i na ilość gazów i pyłów emitowanych do atmosfery przez energetykę cieplną, czyli na zmniejszenie zużycia energii elektrycznej.

Ekonomiczna efektywność pracy układu napędowego zależy od wskaźników energetycznych silników. Ze względu na rodzaj pracy silnika obciążenie może zmieniać się w dużym zakresie.

Większość silników indukcyjnych pracuje przy obciążeniu znacznie niższym od znamionowego. Szczególnie niekorzystna jest praca przy niewielkim obciążeniu lub biegu jałowym, kiedy to wskaźniki energetyczne silnika takie jak: współczynnik mocy oraz sprawność są bardzo małe. Istnieje więc potrzeba poprawy tych wskaźników i stworzenia warunków optymalnej jego pracy. Jeżeli obciążenie silnika jest mniejsze od znamionowego, to należy obniżyć napięcie tak, aby wskaźniki energetyczne był jak najwyższe.

Celem poprawy wskaźników energetycznych korzystne jest zasilanie silnika zmieniającym się w zależności od stopnia obciążenia napięciem. Dlatego też równoczesna zmiana napięcia wraz ze zmianą obciążenia powoduje, że praca silnika odbywa się przy wyższych wartościach wskaźników, które decydują o zużyciu energii elektrycznej. Przy obciążeniu znamionowym silnik powinien być zasilany napięciem znamionowym, natomiast w miarę jak zmniejsza

się obciążenie napięcie powinno być odpowiednio obniżane [5].

Najmniejsze napięcie wymagane jest przy pracy w stanie jałowym i wówczas względna wartość tego napięcia wynosi zwykle około 0,3 [6], [7].

Obniżenie napięcia powoduje zmniejszenie zależnych od niego strat energii oraz wzrost sprawności i współczynnika mocy. Prowadzi to do mniejszego poboru mocy i w konsekwencji do oszczędności energii elektrycznej. Obniżanie napięcia może odbywać się w sposób ciągły lub skokowy.

W artykule przedstawiono przebiegi prądu pobieranego z sieci, współczynnika mocy oraz sprawności silnika w przypadku regulacji skokowej napięcia dla różnej liczby stopni tych zmian.

2. Metodyka badań

Realizując skokowe obniżanie napięcia w miarę zmniejszania obciążenia należy przestrzegać warunku, aby nie wystąpił wzrost strat mocy w silniku. Ponadto współczynnik mocy oraz sprawność powinny wzrosnąć [4], [5].

Jeżeli regulacja napięcia zostanie przeprowadzona nieprawidłowo, to po obniżeniu napięcia zmniejszą się zależne od niego straty w rdzeniu, ale jednocześnie wzrosną straty w uzwojeniach, które nie tylko mogą skompensować zmniejszenie strat w rdzeniu, ale spowodować dalszy wzrost strat całkowitych.

Napięcie powinno być obniżone o taką wartość, aby przy określonym obciążeniu silnika zmalały straty w rdzeniu i straty całkowite. W tym przypadku wzrośnie przede wszystkim współczynnik mocy.

Badania laboratoryjne przeprowadzono dla silnika indukcyjnego klatkowego typu SZUe 44a o następujących danych znamionowych:

- moc znamionowa $P_N = 3kW$,
- napięcie znamionowe $U_N = 380V$,
- prąd znamionowy $I_N = 6,6A$,
- częstotliwość znamionowa $f_N = 50Hz$,
- współczynnik mocy $\cos\varphi_N = 0,81$,
- sprawność $\eta_N = 85\%$,
- prędkość obrotowa $n_N = 1420 obr / min$.

Liczbę stopni obniżania napięcia dobiera się na podstawie czasowego przebiegu obciążenia silnika. Nie powinna ona być jednak zbyt

duża. Może wynosić $5 \div 7$, gdyż uzyskane przebiegi wskaźników energetycznych (prąd pobierany z sieci, współczynnik mocy, sprawność) zbliżone są wówczas do uzyskanych przy ciągłej regulacji napięcia [6].

Wartość napięcia na danym stopniu zależy z jednej strony od obciążenia silnika, a z drugiej od założonej liczby stopni.

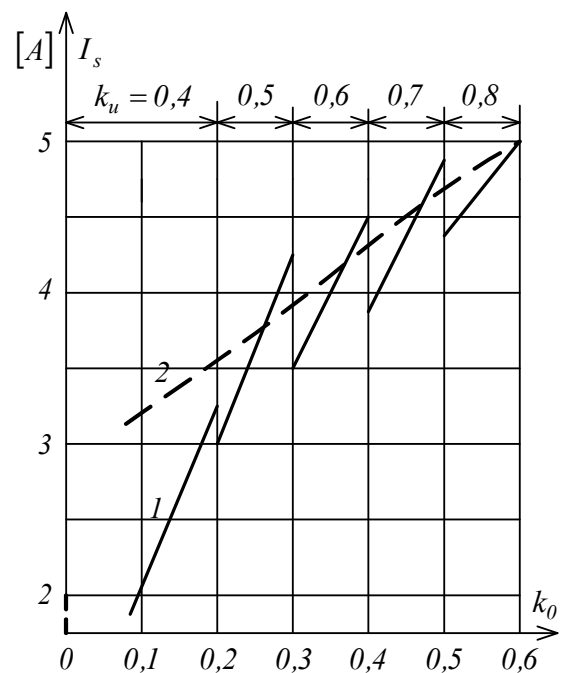
3. Wskaźniki energetyczne przy pracy energooszczędnej silnika

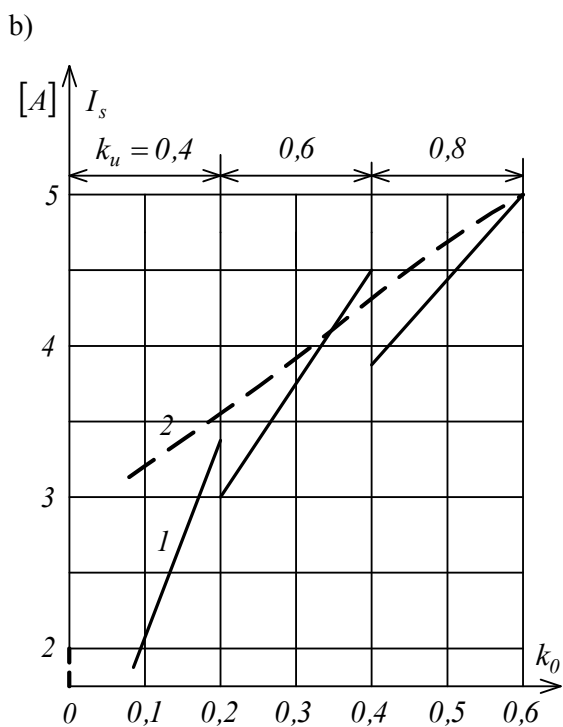
Przebiegi prądu pobieranego z sieci I_s , sprawności η oraz współczynnika mocy $\cos\varphi$ w zależności od względnego obciążenia k_o dla zmieniającego się w sposób skokowy względnego napięcia zasilania k_u przedstawiono na rysunkach 1, 2, 3.

Rysunek 1a. dotyczy 6 stopni zmian napięcia, natomiast rysunek 1b. obrazuje przebieg zmian prądu pobieranego przez silnik dla 4 stopni regulacji napięcia. Gdy obciążenie wzrasta powyżej $k_o = 0,6$ nie istnieje potrzeba zmniejszania napięcia, gdyż nie powoduje to zasadniczych zmian wartości tego prądu.

Wartość prądu pobieranego przez silnik przy regulacji napięcia dla 6 i 4 stopni powoduje zmniejszenie jego wartości.

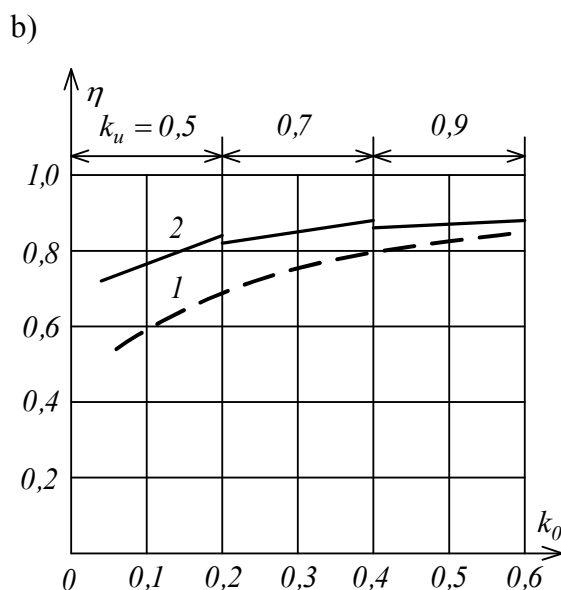
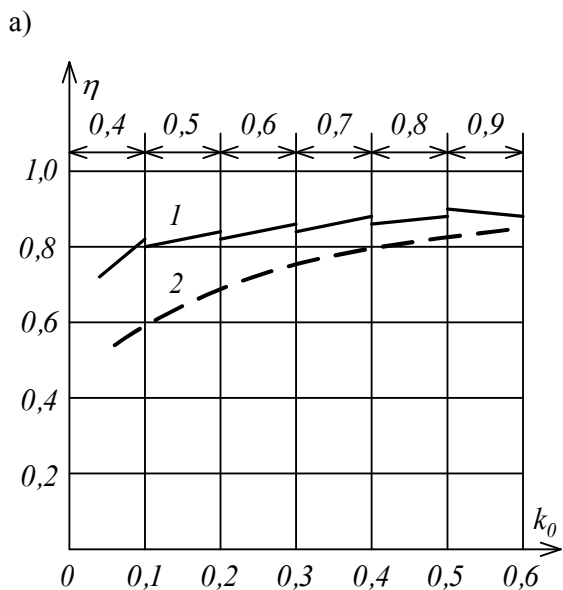
a)





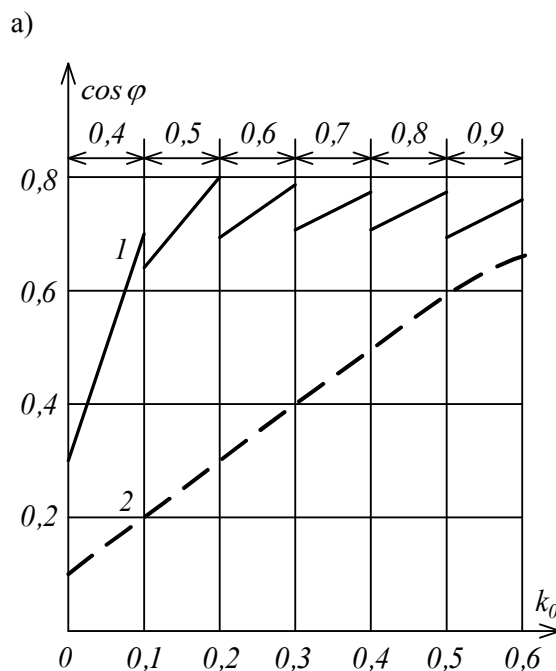
Rys. 1. Przebiegi prądu I_s pobieranego przez silnik przy skokowo regulowanym napięciu – krzywa 1 oraz przy napięciu znamionowym – przebieg 2

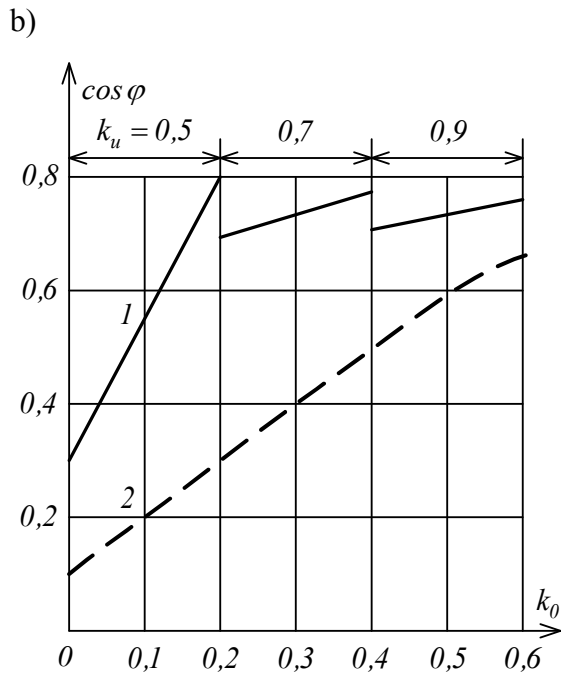
Na rysunku 2a przedstawiono zmiany sprawności dla 6 stopni zmian napięcia, natomiast na rysunku 2b dla 4 stopni jego zmian.



Rys. 2. Zmiana sprawności silnika η w funkcji względnego obciążenia k_o dla skokowej zmiany napięcia (przebieg 1) oraz przy napięciu znamionowym (przebieg 2)

Otrzymane przebiegi świadczą, że obniżanie napięcia dla niższego obciążenia jest korzystne i powoduje wzrost sprawności silnika oraz wzrost oszczędności energii.





Rys. 3. Zależność współczynnika mocy $\cos \varphi$ od wartości względnego obciążenia k_0 (przebieg 1 odpowiada napięciu regulowanemu skokowo oraz napięciu znamionowemu – przebieg 2)

Współczynnik mocy w dużym stopniu zależy od napięcia, dlatego też przy obniżaniu tego napięcia następuje znaczny wzrost wartości $\cos \varphi$ (rys. 3.).

Rysunek 3a dotyczy 6 stopniowej skali regulacji napięcia natomiast rysunek 3b obrazuje zmiany współczynnika mocy dla 4 stopni zmian jego wartości.

Wzrost oszczędności mocy uzyskuje się przy mniejszych obciążeniach, dlatego też celem jest obniżanie napięcia dla obciążeń poniżej $k_0 = 0,6$.

4. Wnioski końcowe

Liczbę stopni obniżania napięcia dobiera się na podstawie czasowego przebiegu obciążenia silnika. Nie powinna ona być jednak zbyt duża i powinna wynosić $3 \div 7$. Zmniejszenie jego zakresu nie powoduje znacznego wzrostu wskaźników energetycznych.

W przypadku, gdy zakres pracy energooszczędnej nie jest zbyt duży, to obniżanie napięcia można rozpocząć przy obciążeniu $k_0 = 0,6$.

Współczynnik mocy w odróżnieniu od sprawności w większym stopniu zależy od napięcia, dlatego też przy obniżaniu napięcia następuje większy skok wartości tego współczynnika.

Przedstawione przebiegi wskaźników energetycznych świadczą o tym, że obniżanie napięcia w miarę zmniejszania obciążenia, powoduje ich znaczny wzrost oraz zmniejszenie prądu pobieranego przez silnik.

Racjonalna praca silnika indukcyjnego przy skokowej regulacji napięcia jest celowa i możliwa, o ile nie następuje wówczas wzrost mocy czynnej pobieranej z sieci.

Obniżanie napięcia zasilającego silnik pracujący w ciągu technologicznym powoduje racjonalizację jego pracy oraz oszczędność energii całej grupy maszyn.

5. Literatura

- [1]. Dubicki B.: *Maszyny Elektryczne, Tom III: Silniki indukcyjne*, PWN, Warszawa 1964r.
- [2]. Kozłowski H. S., Turowski B.: *Silniki indukcyjne*, WNT Warszawa 1968r.
- [3]. Krygier J.: *Zagadnienia energooszczędnej pracy trójfazowych silników asynchronicznych klatkowych*, Prace naukowe Politechniki Szczecińskiej, Nr 494, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Szczecińskiej, Szczecin 1992r.
- [4]. Krygier J.: *Zasady pracy optymalnej silnika asynchronicznego*, Przegląd Elektrotechniczny, 1992 r., nr 8, s. 169-174.
- [5]. Zielińska M.J., Szewc M., Zieliński W., Jahołkowski K.: *Wybrane zagadnienia pracy energooszczędnej silników indukcyjnych*, IV Sympozjum Naukowe: Sterowanie i Monitorowanie Układów Przemysłowych SM 2001 r., Lublin 9-10 maja 2001 r., s. 59-64.
- [6]. Zielińska M.J., Zieliński W.G.: *Wybrane algorytmy regulacji napięcia zastosowane przy energooszczędnej pracy silników indukcyjnych*. Maszyny Elektryczne, BOBRME, KOMEL, Zeszyty Problemowe, Nr 69/2004.
- [7]. Zielińska, M.J. Zieliński W. G.: *Ocena oszczędności energii elektrycznej przy skokowej regulacji napięcia w silniku asynchronicznym klatkowym*. Maszyny Elektryczne, BOBRME, KOMEL, Zeszyty Problemowe, Nr 77/2007.