

Tomasz Zawilak
Politechnika Wroclawska, Wroclaw

ROZRUCH SILNIKÓW DUŻEJ MOCY PRĄDU PRZEMIENNEGO PRZY ROZDZIELONYCH UZWOJENIACH STOJANA

PART WINDING STARTING OF LARGE POWER AC MOTORS

Abstract: A concept of part-winding starting of high power induction motors is presented. During the start up some of the parallel branches are directly supplied from a power network whereas the residual branches are disconnected. After start up of the motor all branches are fed in parallel. Calculated with FEM torque-speed characteristics for the selected connecting configurations are attached. Transients of torque, speed and current during start up are also presented.

1. Wstęp

Rozruch silników indukcyjnych klatkowych jest jednym z ważniejszych zagadnień dotyczących ich eksploatacji. Problem ten jest szczególnie ważny dla silników dużej mocy (rzędu powyżej kilkuset kilowatów). Najprostszym sposobem rozruchu silnika indukcyjnego klatkowego jest bezpośrednie przyłączenie do sieci. Zaletą tego typu rozruchu jest prostota oraz niski koszt inwestycyjny, wadą zaś duża wartość prądu rozruchowego powodująca spadki napięcia zależne od mocy zwarciowej sieci zasilającej. Aby odciążać sieć podczas rozruchu stosuje się metody rozruchu polegające na obniżeniu napięcia zasilającego silnik. Takie rozwiązanie powoduje jednak nieproporcjonalne zmniejszenie momentu rozruchowego w stosunku do ograniczenia prądu. Zastosowanie autotransformatora do obniżenia napięcia pozwala na uzyskanie tych samych proporcji po stronie zasilającej, wiąże się jednak ze znacznie większym kosztem inwestycyjnym w porównaniu do zastosowania rozrusznika stojanowego.

Celem pracy jest opisanie alternatywnej metody łagodzenia rozruchu tj. zmniejszenia prądu rozruchowego, polegającej na zasilaniu części uzwojenia stojana.

2. Opis metody rozruchu

Łagodzenie rozruchu przez częściowe zasilanie uzwojenia stojana znane jest już od ponad 50 lat [1]. Wydzielenie części uzwojenia zasilanego tylko podczas rozruchu można dokonać w różny sposób, jednak najbardziej naturalnym jest wykorzystanie w tym celu gałęzi równoległych. W pracy [2] przedstawiono rozwiązanie polegające na rozdzieleniu trójfazowych uzwojeń stojana, z których jedno jest zasilane napię-

ciem sieciowym natomiast do drugiego przyłączona jest bateria kondensatorów. Założono tam, że gałęzie równoległe są ze sobą sprzężone magnetycznie strumieniem głównym, co odpowiada sytuacji, kiedy cewki gałęzi równoległych leżą w tych samych żłobkach. Tymczasem w maszynach dużej mocy gałęzie równoległe najczęściej są rozmieszczone równomiernie na obwodzie, przez co nie są ze sobą sprzężone magnetycznie.

W maszynie o p liczbie par biegunów oraz liczbie a gałęzi równoległych, każda z gałęzi jest skojarzona z p/a liczbą biegunów. Zakładając brak sprzężenia magnetycznego między gałęziami równoległymi można maszynę interpretować jako sumę a maszyn, z których każda posiada p/a biegunów. Dlatego zasilając podczas rozruchu niektóre gałęzie równoległe w każdym paśmie fazowym, stanowiące określoną część uzwojenia zmienia się stopień wykorzystania maszyny.

Założenie odrębności każdej z gałęzi równoległych nie jest w pełni słuszne, ponieważ w maszynie elektrycznej występuje pole wirujące łączące ze sobą poszczególne gałęzie. Dlatego wyłączenie podczas rozruchu wybranych gałęzi równoległych powoduje zaburzenie w pracy maszyny skutkującej zniekształceniem charakterystyki mechanicznej [1, 3]. Zagadnienie to stanowi główny cel analizy stanu pracy maszyny związanej z tego typu rozruchem. W pracy [3] przedstawiono teoretyczne podstawy występowania harmonicznych pasożytniczych w przebiegu charakterystyki mechanicznej. Ze względu jednak na skomplikowany charakter zjawisk podczas rozruchu silnika, podejście analityczne wydaje się niewystarczające. Ana-

lizę tego zagadnienia w ujęciu polowym dla silnika indukcyjnego małej mocy przedstawiono w pracy [4]. Badany silnik był 4 biegunowy, co tworzyło trudności w odpowiednim zaprojektowaniu układu rozruchowego. Z tego powodu celowe wydaje się wykonanie badań dotyczących silników dużej mocy, o większej liczbie biegunów pola magnetycznego.

3. Badany silnik

Możliwości łagodzenia rozruchu przeanalizowano na przykładzie silnika indukcyjnego o mocy znamionowej $P_n=3,15$ MW. Model silnika zbudowano wykorzystując magnetowód i konstrukcję mechaniczną silnika synchronicznego typu GAe 1716t, w którym zmodyfikowano połączenie uzwojenia stojana.

Obliczenia wykonano za pomocą modelu polowo-obwodowego, którego geometrię części polowej oraz schemat elektryczny części obwodowej pokazano na rysunku 1.

Uzwojenie rozpatrywanego silnika składa się z czterech symetrycznych gałęzi równoległych wytwarzających podczas normalnej pracy sześćnaście biegunów.

Przy takiej konstrukcji uzwojenia stojana rozruchu można dokonać w kilku wariantach. W badaniach rozpatrzono następujące przypadki różniące się liczbą gałęzi równoległych zasilanych podczas rozruchu silnika:

A - załączone wszystkie gałęzie 1-4,

B - załączone gałęzie 1, 2, 3,

C - załączone gałęzie 1, 2,

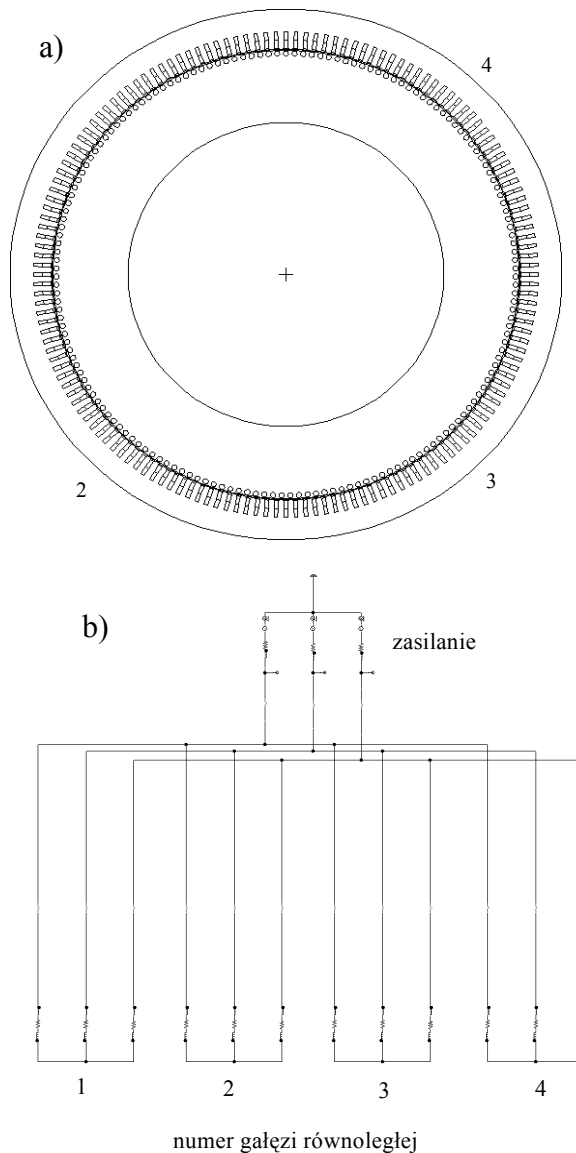
D - załączone gałęzie 1, 3,

E - załączona gałąź 1.

4. Wyniki badań

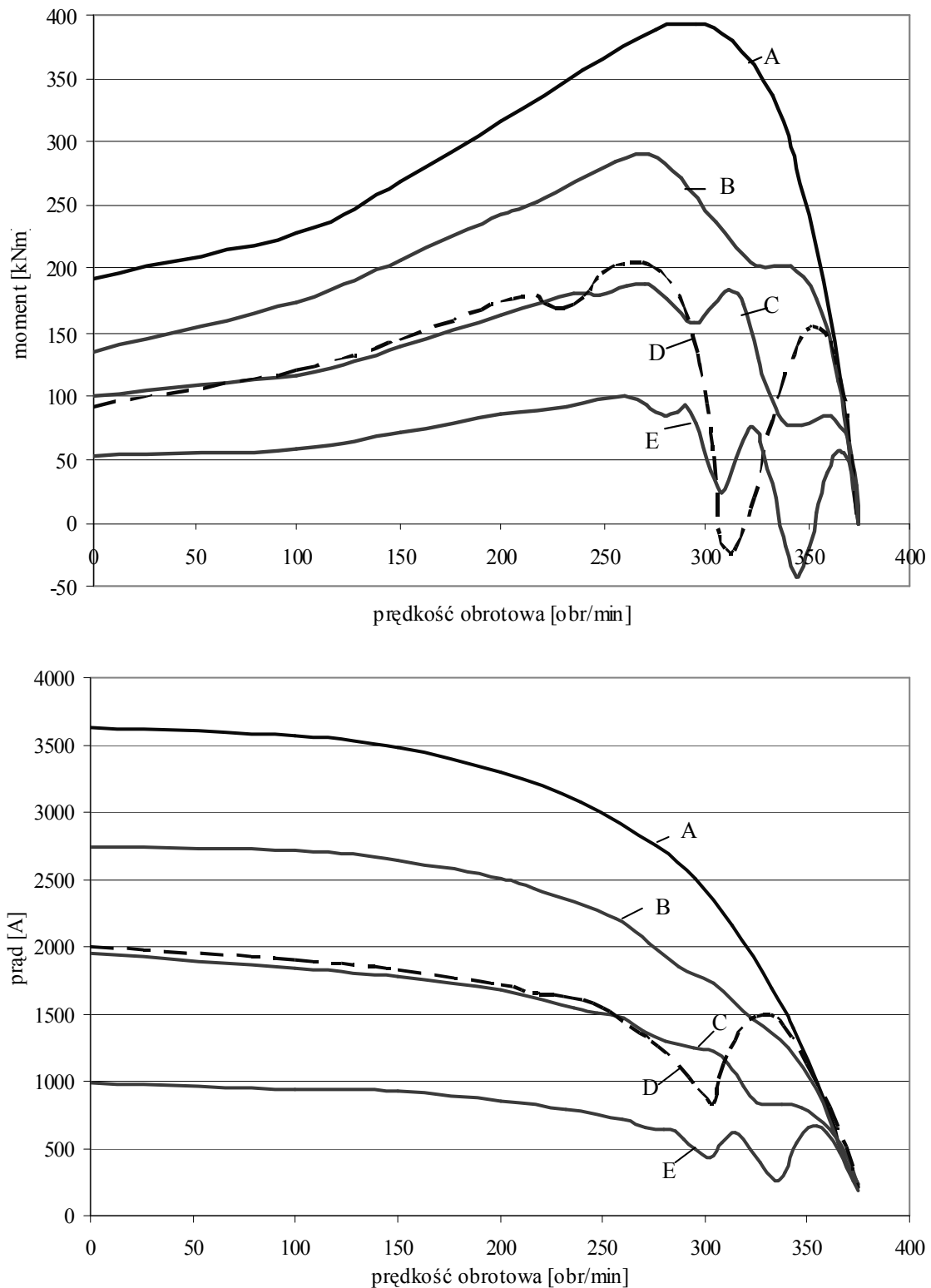
4.1 Statyczne właściwości rozruchowe badanego silnika

Wykorzystując opracowany model polowo-obwodowy wyznaczono statyczne charakterystyki rozruchowe dla wszystkich konfiguracji (zależność momentu oraz prądu rozruchowego w funkcji prędkości obrotowej). Wyniki obliczeń przedstawiono na rysunku 2. Z przedstawionych wykresów wynika, że w zakresie prędkości obrotowych $(0 - 0,75)n_s$ wartość prądu oraz momentu obrotowego są w przybliżeniu proporcjonalne do liczby gałęzi równoległych zasilanych podczas rozruchu.

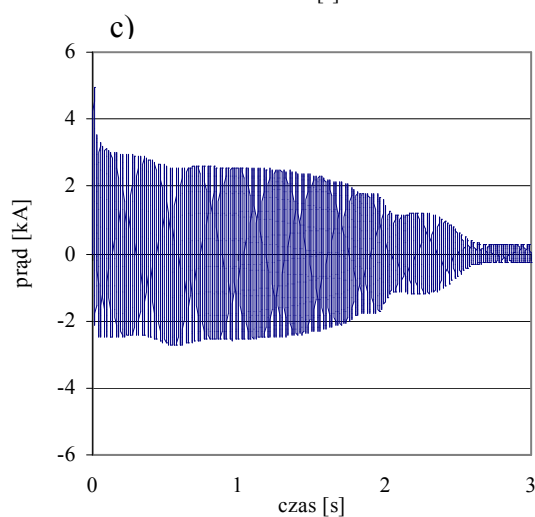
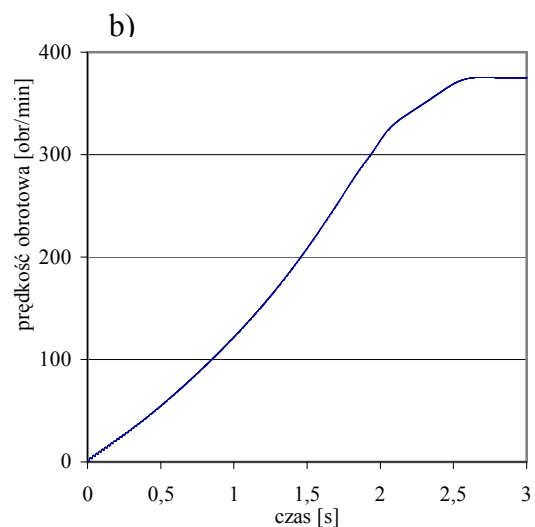
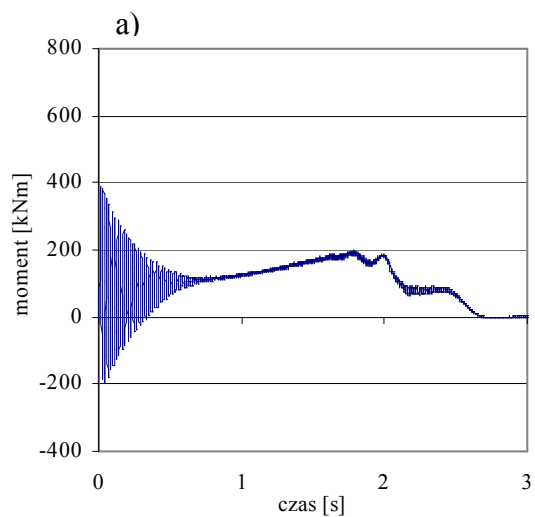
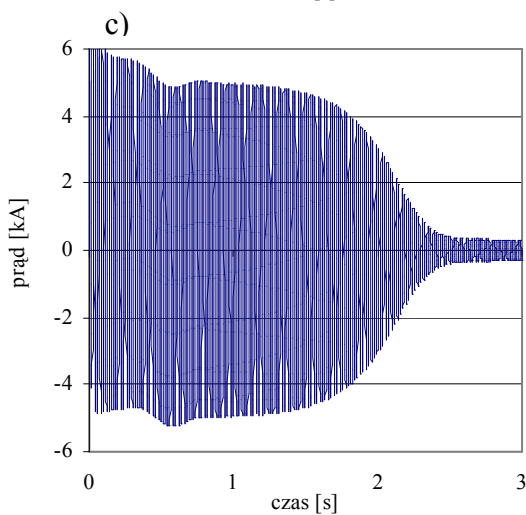
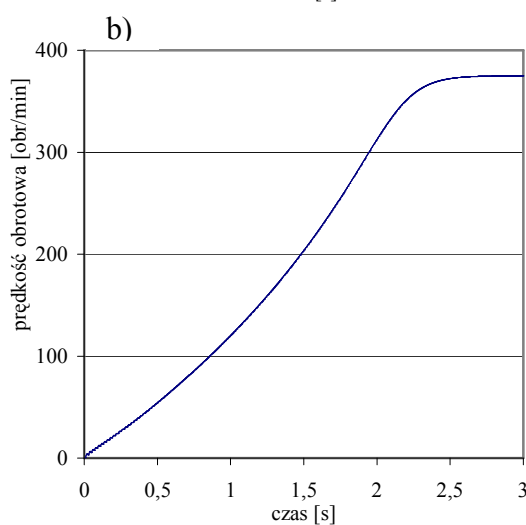
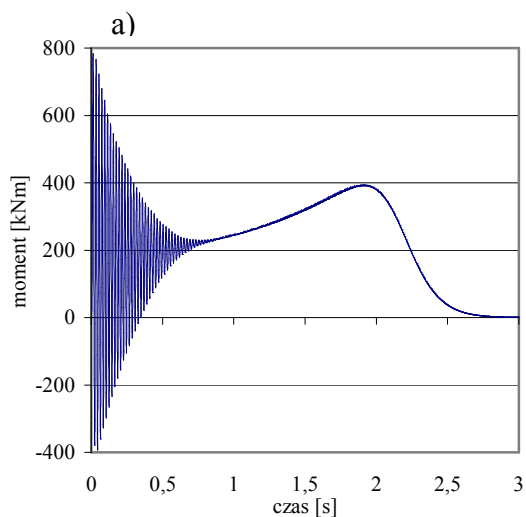


Rys. 1. Model obliczeniowy badanego silnika: a) geometria, b) schemat połączenia uzwojenia stojana

Dla prędkości obrotowej większej niż $75\% n_s$ zauważa się zniekształcenie charakterystyki mechanicznej. Dla wariantu B charakterystyka momentu wskazuje na możliwość uruchomienia silnika przy znamionowym obciążeniu silnika. Dla wariantów C i D, pomimo tej samej liczby zasilanych gałęzi przebieg charakterystyk jest zupełnie różny. Zdecydowanie korzystniejszy wydaje się wariant C, dla którego moment rozruchowy jest w pełnym zakresie prędkości dodatni. Dla wariantu D moment napędowy jest w pewnym zakresie prędkości ujemny co powoduje, że uruchomienie silnika nawet bez obciążenia jest niemożliwe. Podobna sytuacja występuje dla wariantu E z 1 gałęzią zasiloną w czasie rozruchu.



Rys. 2. Charakterystyka mechaniczna oraz prąd pobierany z sieci dla różnych wariantów rozruchu badanego silnika



Rys. 3. Czasowe wykresy momentu (a), prędkości obrotowej (b) oraz prądu stojana (c) w czasie rozruchu dla wariantu A (wszystkie gałęzie równoległe zasilane).

Rys. 4. Czasowe wykresy momentu (a), prędkości obrotowej (b) oraz prądu stojana (c) w czasie rozruchu dla wariantu C (zasilane gałęzie numer 1 i 2).

4.2 Dynamiczne właściwości rozruchowe badanego silnika

Wykorzystując opracowany model polowo-obwodowy przeprowadzono symulacje rozruchu silnika w stanach dynamicznych bez obciążenia. W symulacjach rozpatrzono dwa przypadki rozruchu: wariant A oraz wariant C. W celu uzyskania porównywalnego czasu rozruchu dla obu przypadków, w obliczeniach dla wariantu C założono dwukrotnie mniejszy moment bezwładności w porównaniu do wariantu A. Wyniki symulacji w postaci przebiegów: momentu elektromagnetycznego, prędkości obrotowej oraz prądu stojana w funkcji czasu rozruchu pokazano na rysunkach 3 i 4.

5. Podsumowanie

Wykonane badania potwierdzają możliwość łagodzenia procesu rozruchu silnika prądu przemiennego polegające na zasilaniu części uzwojenia stojana. Zaprezentowane rozwiązanie jest ciekawą alternatywą do powszechnie stosowanych metod łagodzenia rozruchu gdyż zapewnia zmniejszenie prądu oraz momentu rozruchowego w tych samych proporcjach. Dobór odpowiedniej konfiguracji uzwojenia stojana zasilanego w czasie rozruchu zależy od charakterystyki mechanicznej obciążenia. Dla układów napędowych o wentylatorowej charakterystyce mechanicznej (szczególnie wentylatorów uruchamianych jałowo) możliwe jest nawet dwukrotne zmniejszenie prądu rozruchowego.

6. Literatura

- [1]. Alger P.J., *Performance calculations for part-winding starting of 3-phase motors*, AIEE transactions, Vol. 75, Part III, 1957, pp.1535-1543.
- [2]. Antal L., Zawilak J., Zawilak T. *Rozruch silników indukcyjnych z rozdzielonymi uzwojeniami stojana* Zeszyty Problemowe BOBRME Komel, nr 68, 2006, ss. 99-105
- [3]. Rajaraman K.C. *Theory and design of part-winding starting* IEEE Transaction on Energy Conversion, Vol. 14, No. 1, 1999, pp. 31 - 36
- [4]. Stermecki A.; Ticar I.; Zagradisnik I.; Kitak P. *FEM-based design of an induction motor's part winding to reduce the starting current* IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 42, No. 4, 2006 pp. 1299 - 1302

Adres Autora

dr inż. Tomasz Zawilak
Politechnika Wrocławska
Inst. Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektr.
Wybrzeże Wyspiańskiego 27
50-370 Wrocław
tomasz.zawilak@pwr.wroc.pl