

PRZYKŁAD 6.2

Opracować model silnika indukcyjnego pierścieniowego wraz z ekwiwalentem sieci zasilającej. Zbadać stan przejściowy w uzwojeniach silnika po wystąpieniu przerwy w jednej fazie obwodu zasilającego przy znamionowym obciążeniu. Parametry silnika podano poniżej.

Parametry silnika i napędu: $U_N=6$ kV, 50 Hz, $P_N=420$ KM¹, $n=1458$ obr/min (prędkość obrotowa przy znamionowym obciążeniu), $\cos\varphi=0,84$, $s_N=2,8\%$, $\eta=97\%$ (sprawność); moment początkowy $T_m=0,95$ j.w.; prąd rozruchowy $I_r=6$ j.w.; stała inercji $H=1,1$ s.

Liczbę biegunów silnika można określić na podstawie podanej częstotliwości napięcia sieci i znamionowej prędkości obrotowej pola wirnika:

$$p = \frac{n_1}{n_e} = \frac{f_1 \cdot 60}{n_e} = \frac{50 \cdot 60}{1500} = 2.$$

W przypadku napędów silnikowych, moment obciążenia, współczynnik tłumienia, czy też moment bezwładności, mogą być estymowane na podstawie danych znamionowych silnika:

$$T_m = \frac{P}{\omega} = \frac{7023,5 \cdot P(\text{KM})}{n} = \frac{9549,3 \cdot P(\text{kW})}{n} = 2024 \text{ N}\cdot\text{m}, \quad n - \text{obroty znamionowe, (obrot/min)}.$$

Do obliczenia szczegółowych parametrów modelu silnika i związanej z nim części mechanicznej wygodnie jest posłużyć się programem Windsyn (patrz Przykład C.5). Dla podanych parametrów silnika i obciążenia otrzymuje się (według oznaczeń stosowanych w ATPDraw):

$LMUD=LMUQ=0,913927$ H (indukcyjność magnesowania w osiach d i q),

$Lsd=Lsq=Lrd=Lrq=0,031485$ H (indukcyjność stojana oraz wirnika w osiach d i q),

$Rsd=Rsq=0,613031$ Ω (oporność stojana w osiach d i q),

$Rrd=Rrq=2,33505$ Ω (oporność wirnika w osiach d i q).

Moment bezwładności $J=30,06$ kgm², współczynnik tłumienia $D=1/2,91$ N·m/(rad/s).

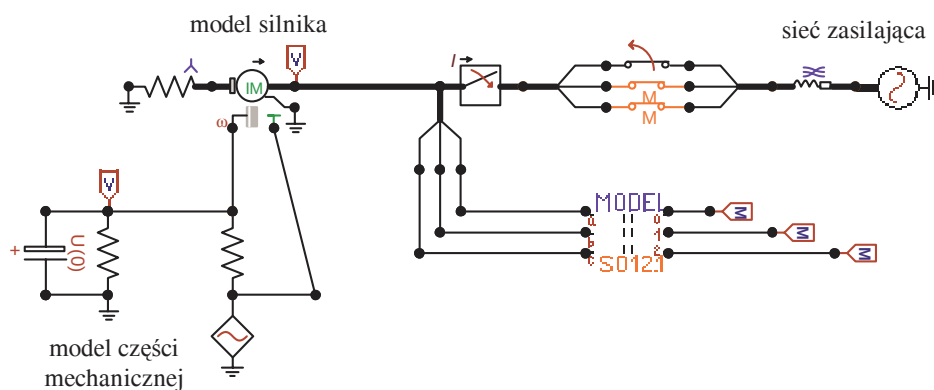
Schemat modelu silnika wraz z siecią zasilającą, opracowany za pomocą programu ATPDraw jest pokazany na rys. 1. Kondensator w obwodzie modelu części mechanicznej o wartości $30,06 \cdot 10^6$ μF odzwierciedla moment bezwładności J wirującego układu, a napięcie na nim odpowiada jego prędkości kątowej. Zakładając, że na początku symulacji silnik obraca się ze znamionową prędkością, początkowe napięcie na kondensatorze zostało określone następująco:

$$u(0) = \frac{(1-s)}{p} \omega_1 = \frac{(1-0,028)}{2} 100\pi = 152,7 \text{ V}.$$

¹ 1 KM = 0,73549875 kW dla $g=9,80665$ m/s²

Równolegle do omawianego kondensatora włączony jest opornik o wartości $1/D$, który odzwierciedla tłumienie mechaniczne.

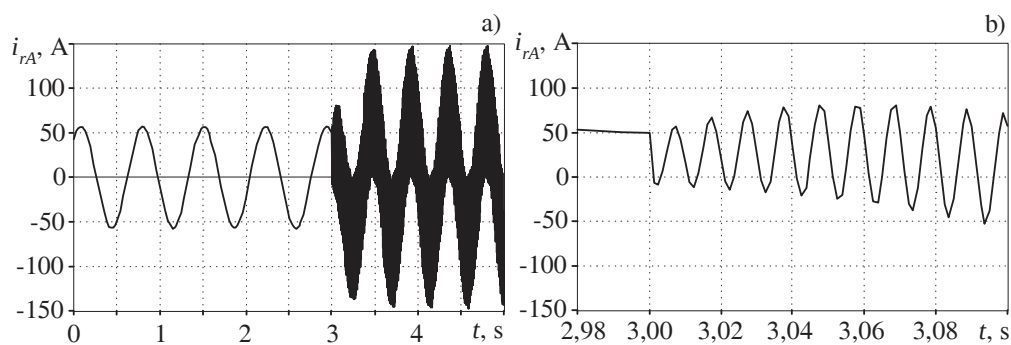
Parametry modelu silnika zostały określone dla warunków znamionowego obciążenia, więc nie potrzeba dołączać dodatkowego źródła prądowego (dla odzwierciedlenia obciążenia). Widoczne na schemacie modelu źródło prądowe o bardzo małej wartości jest umieszczone ze względu na wymagania stosowanej procedury obliczeniowej.



Rys. 1. Model ATPDraw rozważanego układu

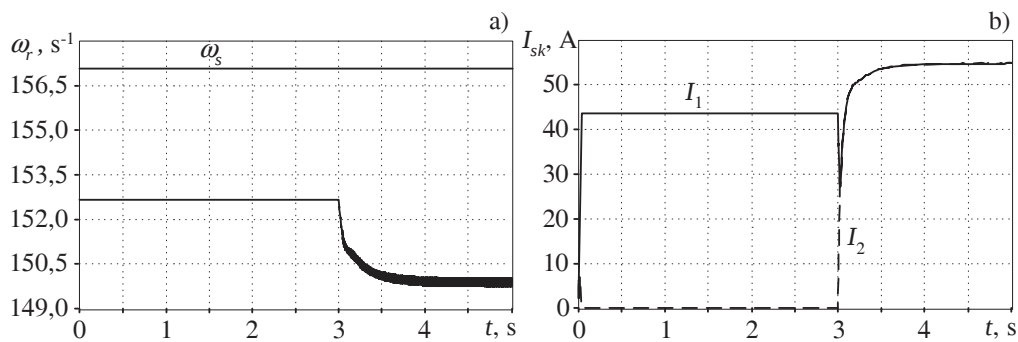
W celu pomiaru składowych symetrycznych prądu silnika został umieszczony model odpowiedniego miernika zrealizowany w postaci modułu MODELS (patrz Przykład C.2).

Przebieg prądu wirnika w fazie A jest pokazany na rys. 2. Początkowa forma tego prądu odnosi się do stanu ustalonego przy znamionowym obciążeniu (rys. 2a). Prąd wirnika ma przebieg sinusoidalny o prędkości kątowej wynikającej z poślizgu: $\omega_s - \omega_{rN}$, co w danym przypadku odpowiada częstotliwości 1,4 Hz.



Rys. 2. Przebiegi prądu wirnika: a) w pełnym przedziale czasu oraz b) jego fragment

Przerwanie fazy A w obwodzie zasilania silnika następuje w czasie $t_p=3$ s. Ze względu na niesymetrię napięcia zasilającego, pole elektromagnetyczne stojana zostaje zniekształcone – można w nim wyróżnić dwie składowe o przeciwnych kierunkach wirowania. Jest to znany efekt, objawiający się w postaci wzrostu wartości skutecznej prądu w uzwojeniach wirnika (rys. 2a), gdzie oprócz składowej o częstotliwości poślizgu, pojawia się także składowa o podwójnej częstotliwości sieciowej (jeśli pominąć poślizg), co jest dobrze widoczne po zmianie skali czasu (rys. 2b). Zjawisko to objawia się dużym wzrostem składowej przeciwnej prądu na zaciskach silnika (rys. 3b) – w tym przypadku obie składowe: zerowa i przeciwna, są sobie równe. Może to doprowadzić do szybkiego uszkodzenia uzwojeń wirnika w wyniku wzrostu ich temperatury, jeśli maszyna nie zostanie w porę wyłączona. Powoduje to także zmniejszenie średniego momentu elektromagnetycznego maszyny i ustalenie się równowagi elektromechanicznej przy mniejszej prędkości obrotowej (rys. 3a).



Rys. 3. Zmiana prędkości kątovej wirnika: a) oraz przebiegi składowych symetrycznych zgodnej I_1 oraz przeciwnej I_2 prądu stojana: b)