

Piotr SZYMCZAK<sup>1</sup>

## ANALIZA PROCESÓW PRZEJŚCIOWYCH W SILNIKACH INDUKCYJNYCH LINIOWYCH

*W pracy przedstawiono wyniki wybranych symulacji procesów przejściowych w silnikach indukcyjnych liniowych dla różnych stanów pracy z uwzględnieniem niesymetrii wprowadzanej przez zjawiska osobliwe dla tych maszyn. Badania teoretyczne przeprowadzono z wykorzystaniem metodyki opartej na schematach strukturalnych opracowanych na podstawie detalizowanych magnetycznych i elektrycznych schematach zastępczych. W przebiegach charakterystyk mechanicznych występują w sile elektromagnetycznej dodatkowe pulsacje o podwójnej częstotliwości zasilającej i amplitudzie zależnej od prędkości silnika. W zakończeniu pracy sformułowano wnioski.*

### 1 WPROWADZENIE

Do zaprojektowania napędu elektrycznego z silnikami indukcyjnymi liniowymi (SIL) niezbędne są jego charakterystyki w stanach przejściowych i ustalonych. W zależności od rodzaju analizowanych stanów nieustalonych do badań symulacyjnych stosuje się różne modele matematyczne oraz różne narzędzia i metody obliczeń [2-5]. Przy wyborze opisu matematycznego SIL nie zawsze możemy przyjmować model wyidealizowanej maszyny z uwagi na zjawiska osobliwe, powodujące niesymetrie. Przyczyną są niejednakowe rezystancje i reaktancje rozproszenia uzwojeń poszczególnych faz części pierwotnej oraz podłużne zjawiska końcowe [1]. Deformują one rozkład pola magnetycznego i siłę ciągu wzdłuż induktora, doprowadzając nawet do powstania sił hamujących na pierwszej podziałce biegunowej. Czasami skala niesymetrii może być tak znaczna, że idealizowane modele matematyczne nie będą adekwatnie odwzorowywać procesów przejściowych. Stopień niesymetrii prądów fazowych w SIL wyrażony współczynnikiem niesymetrii  $k_u$  zawiera się zwykle w granicach  $0 \div 0,07$ . Celem pracy jest analiza procesów przejściowych SIL dla różnych stanów pracy napędu elektrycznego w oparciu o nową metodykę.

---

<sup>1</sup> Zakład Maszyn i Napędów Elektrycznych Politechniki Szczecińskiej, ul. Sikorskiego 37, 70-313 Szczecin, tel.: (+4891) 449 4212, fax (+4891) 449 4317, e-mail: [ic@ps.pl](mailto:ic@ps.pl).

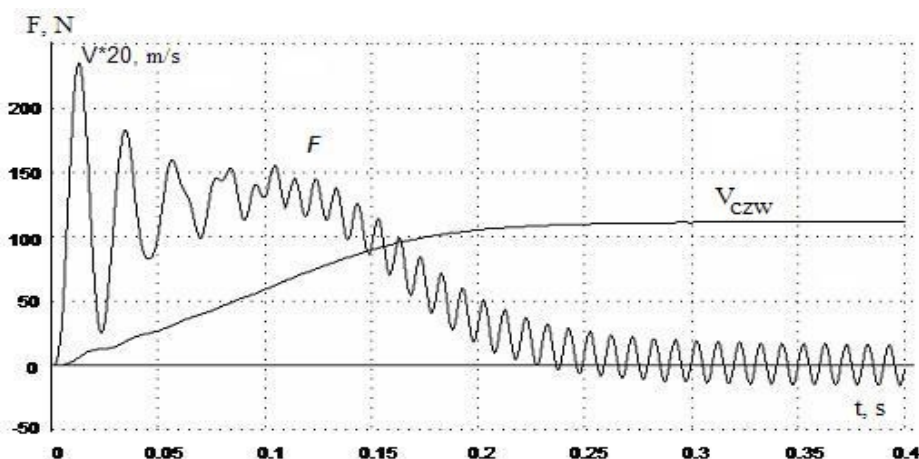
## 2 METODA BADAŃ SYMULACYJNYCH

Do badań symulacyjnych wykorzystano nową metodykę, przedstawioną w pracach [2-5], opartą na schematach strukturalnych z wykorzystaniem detalizowanych magnetycznych i elektrycznych schematów zastępczych. Pozwala ona na wprowadzenie szybkich i elastycznych zmian w zakresie detalizacji obwodów magnetycznych i elektrycznych SIL. Równocześnie, jak pokazuje doświadczenie w zakresie dokładności badań procesów, Metoda Detalizowanych Schematów Zastępczych nie ustępuje metodom polowym, a nawet ma nad nimi pewną przewagę podczas badania procesów przejściowych. Pozwala ona bowiem uwzględnić wiele zjawisk osobliwych SIL (efekty końcowe, zjawiska poprzeczne i nasycenia, różnorodną budowę części wtórnych) oraz uwzględnić ponadto straty w rdzeniu, na co nie pozwalają metody klasyczne.

## 3 WYBRANE REZULTATY BADAŃ TEORETYCZNYCH

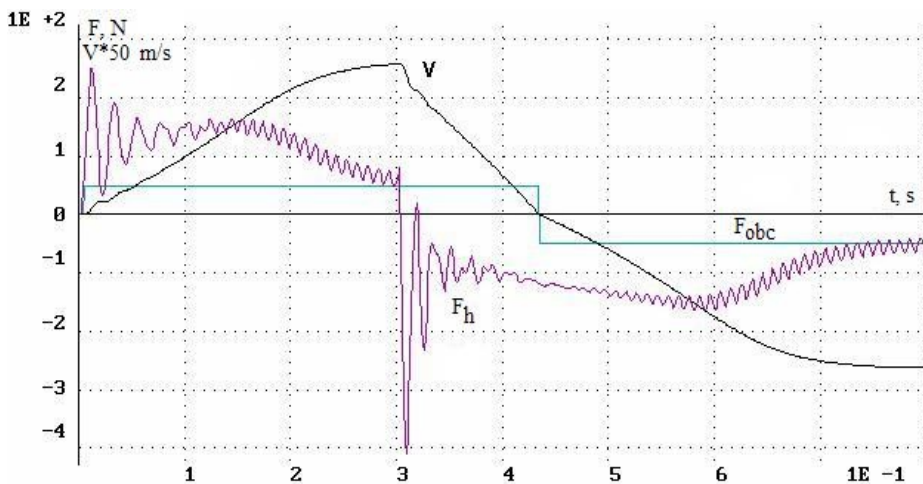
Przebiegi procesów przejściowych SIL w różnych stanach pracy przy rozruchu, nawrocie i przy hamowaniu dynamicznym pokazano na załączonych rysunkach. Do badań wzięto model eksperymentalny SIL, a jego parametry podano w pracy [2]. Na charakterystykach mechanicznych widać wyraźnie elektromagnetyczne i elektromechaniczne procesy przejściowe, na których zauważamy pulsacje o podwójnej częstotliwości sieci. Analizując dokładnie poszczególne charakterystyki zaobserwować można, że amplituda składowej siły pulsacji zmienia się proporcjonalnie do zmian prędkości  $v$ .

Na rys. 1. pokazano przebieg siły  $F$ ; w pierwszym etapie widać proces elektromagnetyczny (do 0,1s), a w drugim etapie – proces elektromechaniczny (do 0,25s). Przy prędkości  $v=0,6v_0$  ( $t=0,3s$ ) dostrzegalne są wyraźne pulsacje siły o podwójnej częstotliwości.



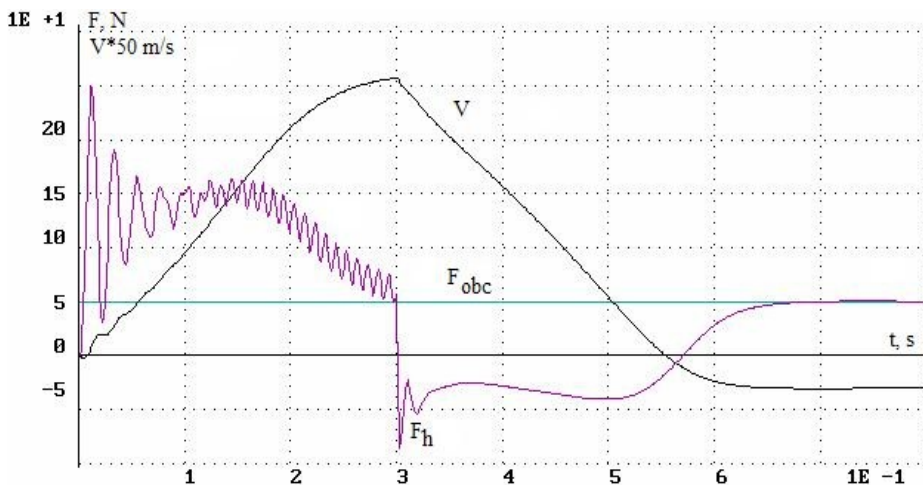
Rys. 1. Charakterystyki  $F$  i  $v$  przy rozruchu dla biegu jałowego.

Na rys. 2. przedstawiono proces przejściowy SIL w trakcie rozruchu i nawrotu przy obciążeniu siłą oporową bierną  $F_{obc} = 45 \text{ N}$ . Widoczny jest tu wpływ prędkości na podłużny efekt końcowy. Przy małych prędkościach amplituda pulsacji jest bliska zero, a ze wzrostem  $v$  - ich amplituda wzrasta. Przy nawrocie następuje impuls siły 3,5-krotnie większy od wartości średniej.



Rys. 2. Charakterystyki  $F$  i  $v$  dla rozruchu i nawrotu SIL.

Na rys. 3. zaprezentowano charakterystyki procesów przejściowych  $F$  i  $v$  przy rozruchu SIL z obciążeniem czynnym  $F_{obc}$ , a następnie z hamowaniem dynamicznym po  $t=0,3\text{s}$   $F_h$  ( $E_a=50\text{V}$ ,  $E_b=-50\text{V}$ ,  $E_c=0\text{V}$ ), w trakcie którego, co bardzo interesujące, brak pulsacji siły (SIL odłączony od zasilania).



Rys. 3. Charakterystyki procesów przejściowych  $F$  i  $v$  przy rozruchu i hamowaniu dynamicznym.

## 4 PODSUMOWANIE

Analiza procesów przejściowych elektromagnetycznych i elektromechanicznych SIL pokazała, że istotny wpływ na ich przebieg mają zjawiska osobliwe, a szczególnie podłużny efekt końcowy. Powoduje on m.in. niesymetrię prądów fazowych induktora, a ta z kolei wpływa na przebieg pociągowej siły elektromagnetycznej, w której występują dodatkowe pulsacje siły o podwójnej częstotliwości.

Z reguły siła elektromagnetyczna pulsująca, nawet o stosunkowo dużej wartości, nie powoduje zakłóceń w pracy silnika. Działanie jego polega na cyklicznym przyspieszeniu i opóźnieniu, lecz – ze względu na uśredniający efekt masy – spowodowane tymi stanami zmiany prędkości silnika są pomijalne.

Uwzględnienie składowej oscylacyjnej siły może być wręcz nieodzowne w małych silnikach liniowych, gdy częścią ruchomą napędu elektrycznego będzie część wtórna o małej masie. Mogą wówczas występować znaczące drgania powodujące nadmierny hałas.

## 5 LITERATURA

1. Gieras J., Silniki indukcyjne liniowe, WNT, Warszawa 1990.
2. Ivanuszkin V.A., Sarapulov F.N., Szymczak P., Strukturnoje modelirovanie elektromechaniceskich systemov i ich elementov, Szczecin 2000.
3. Sarapulov F.N., Sarapulov S. F., Szymczak P., Matematicheskie modeli liniejnych indukcyjnych maszyn na asnowie schem zamieszcienija, Wyd 2, GOU VPO „UGTU –UPI”, Ekaterinburg 2005.
4. Szymczak P., Dinamiczeskaja model i strukturnaja shiema linejnogo asynchronnogo dvigatiela, „Elektriczestvo”, nr 11, 2003 r. ss. 56-63.
5. Szymczak P., Modeling and Transient Analysis of the Linear Induction Motors by Detailed Structural Schemes, Przegląd Elektrotechniczny, Nr 11, 2007, pp. 128-130.

## TRANSIENT ANALYSIS OF LINEAR INDUCTION MOTORS

The paper presents simulation results of transients occurring in linear induction motors for different operation modes with due account of asymmetry introduced by phenomena peculiar to these machines. Theoretical analysis is performed by means of structural diagrams developed on the basis of detailed magnetic and electrical equivalent diagrams. It has been found in the mechanical characteristics that additional pulsations of double frequency and motor angular velocity dependent amplitude occur in the electromagnetic force.