

Stanowisko do badania maszyn indukcyjnych liniowych płaskich jednostronnych

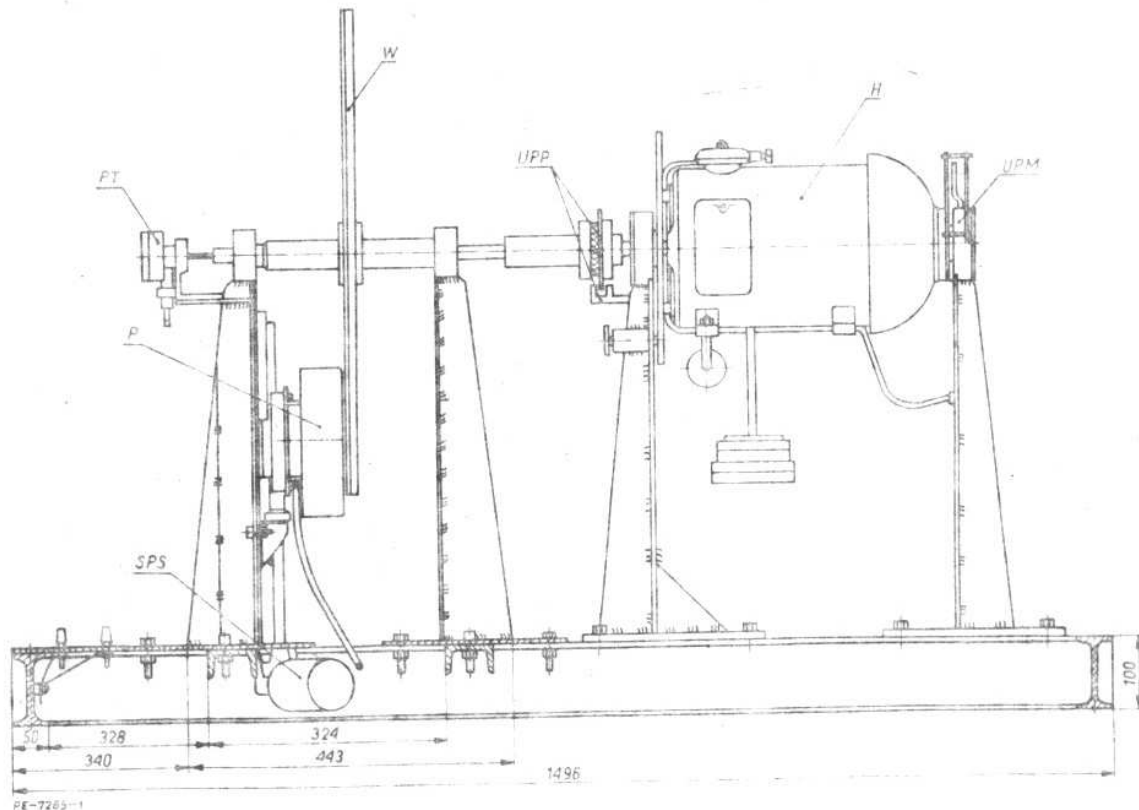
Wstęp

Silniki indukcyjne liniowe płaskie mogą mieć zastosowanie jako silniki trakcyjne [6, 7, 8, 12], do nadawania dużych przyspieszeń startującym samolotom [6, 7] lub samochodom podczas symulacji zderzeń [8], regulacji mechanicznej prędkości obrotowej [1, 11], transportu odkuwek stalowych [6], naprężania zwijanej folii aluminiowej [6], napędu zasuw, drzwi, suwnic, wciągników [4, 6, 7], itp. Wciąż niedoskonałe jeszcze metody projektowania sprawiają, że bardzo ważną rolę w procesach poznawczych odgrywają badania eksperymentalne tych maszyn. W większości przewidywanych zastosowań wymagane są szybkobieżne silniki indukcyjne liniowe płaskie. Duże prędkości liniowe, tzn. zbliżone do prędkości synchronicznych narzucają — dla osiągnięcia prędkości ustalonej pracy maszyn badanych i odpowiedniej dokładności pomiarów — następujące wymagania co do konstrukcji stanowisk laboratoryjnych: wykonanie toru (części wtórnej) o długości co najmniej kilkunastu metrów, po którym przemieszcza się wózek z badanym silnikiem liniowym (część pierwotna), albo też wykonanie części wtórnej w postaci tarczy wirującej lub taśmy zamkniętej przesuwającej się na dwóch wałkach, analogicznie jak w przenośnikach taśmowych. Tor o odpowiedniej długości wraz z silnikiem liniowym na wózku, chociaż najwierniej oddaje rzeczywiste warunki pracy maszyny, zajmuje jednak du-

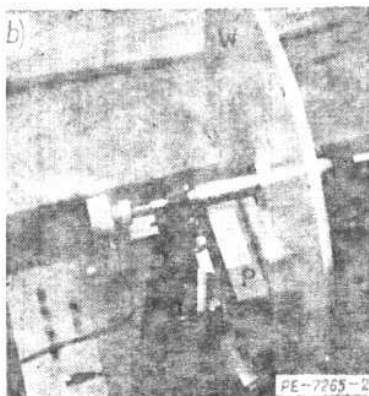
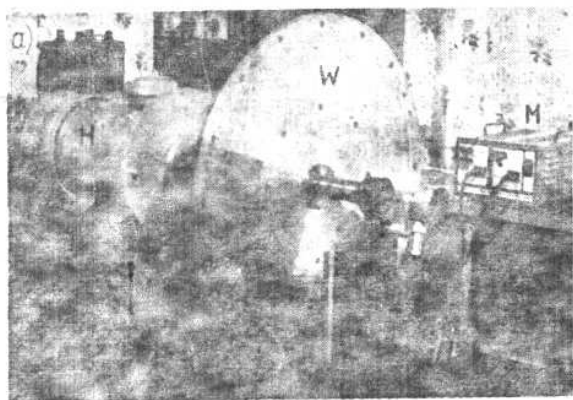
żo miejsca oraz nie zapewnia wiarygodnej dokładności pomiaru siły ciągu i prędkości metodami pośrednimi [8, 10]. Stanowisko o taśmowej części wtórnej stwarza duże trudności w wykonaniu odpowiednio trwałej elastycznej taśmy przewodzącej i na ogół wyklucza zastosowanie jednorodnej części wtórnej [2, 3, 5, 9]. Najprostsze w konstrukcji, najbardziej trwałe, niezawodne, zapewniające możliwość badania pracy silnikowej, prądnicowej, hamulcowej i nawrotnej oraz prosty sposób obciążania i proste pomiary siły ciągu i prędkości są — zdaniem autora — stanowiska o tarczowej lub bębnowej części wtórnej. Pomiary prędkości liniowej i siły ciągu są takie same, jak pomiary prędkości obrotowej i momentu na wale w maszynach wirujących, przez co mogą być używane takie same przyrządy pomiarowe oraz automatyczne systemy pomiarowe. Należy sobie jednak zdać sprawę z ewentualnych błędów pomiarów wskutek krzywizny tarczy lub bębna i stosować tarcze do parametru $2pr$ części pierwotnej maszyny liniowej, przy czym $2p$ — liczba biegunów, r — podziałka bieżniowa.

Budowa

Stanowisko do badania jednostronnych maszyn indukcyjnych liniowych płaskich skonstruowane przez autora (rys. 1) składa się z przemieszczającej się pio-



Rys. 1. Konstrukcja stanowiska do badań maszyn indukcyjnych liniowych płaskich jednostronnych
 P — część pierwotna; W — część wtórna; H — maszyna prądu stałego (hamulec, silnik); SPS — silnik prądu stałego do posuwu promieniowej części pierwotnej; PT — układ do pomiaru momentu



Rys. 2 Widok stanowiska do badania maszyny indukcyjnej liniowej płaskiej jednostronnej: a) maszyna indukcyjna liniowa, maszyna prądu stałego i układ do pomiaru prędkości i siły ciągu; b) część wtórna tarczowa i część pierwotna SL-5-270 przemieszczająca się promieniowo (widoczny u dołu silnik prądu stałego do posuwu promieniowego). Oznaczenia jak na rys. 1.

nowo części pierwotnej silnika indukcyjnego liniowego typu SL-5-270 produkcji Zakładu Maszyn Elektrycznych i Motoreduktorów INDUKTA, dwuwarstwowej tarczy o średnicy $D = 0,661$ m będącej częścią wtórną, maszyny prądu stałego o wale współosiowym z wałem tarczy, mogącej pracować jako hamulec, prądnica lub silnik napędowy oraz układu do pomiarów cyfrowych prędkości obrotowej i siły ciągu (momentu) z możliwością rejestracji charakterystyk mechanicznych za pomocą rejestratora współrzędnościowego X—Y.

Podziałka biegunowa części pierwotnej typu SL5-270 wynosi $\tau = 50,1$ mm, liczba biegunów $2p = 4$, podziałka zębowa $t = 16,7$ mm, długość idealna pakietu blach $L_1 = 100$ mm (blacha gorącowalcowana — 2,0, E3-05), liczba faz $m = 3$, liczba zwojów szeregowych $N = 490$, średnica przewodu gołego $\phi = 1,1$ mm, rezystancja w temperaturze 20°C $R = 3,5\Omega$, napięcie zasilające międzyprowadowe przy połączeniu w gwiazdę $U_n = 380$ V, częstotliwość znamionowa $f = 50$ Hz. Tarcza wykonana jest z dwóch warstw: wewnętrznej ze stali S14s o grubości 9,5 mm oraz zewnętrznej aluminiowej o grubości 4,7 mm. Stosunek $D/2\tau = 3,2$, moment bezwładności tarczy $J = 1,39$ kgm², szczelina powietrzna między rdzeniem części pierwotnej a częścią wtórną $\delta = 2$ mm.

Jako maszynę prądu stałego zastosowano prądnicę typu PZM 32b o następujących danych znamionowych: $P_n = 0,8$ kW, $U_n = 230$ V, $n_n = 1450$ obr/min, $I_{tn} = 3,48$ A, $I_{wn} = 0,305$ A. Stwierdzono, że można dopuścić krótkotrwałe ok. 2—3-krotny prąd znamionowy twornika. Obudowa maszyny prądu stałego jest ułożyskowana i wyposażona w przeciwwagę, aby był możliwy pomiar wychyły momentu obciążenia przy pracy hamulcowej oraz jest wyposażona w mechanizm blokujący stojan — przy pracy silnikowej i prądnicowej. Wprowadzono dwa zakresy pomiarowe momentu hamującego: O — 8 N·m i O — 20 N·m. Sprzęgnięty z wałem stojana ślizgacz czujnika potencjometrycznego zmienia swe położenie wraz z wychyleniem maszyny prądu stałego. Ponieważ między momentem obciążenia M_h a kątem wychylenia α stojana jest spełniona zależność

$$(1) \quad M_h = C \sin \alpha$$

w której: C — stała zależna od masy i długości przeciwwagi, a napięcie wyjściowe ze ślizgacza potencjometru U_p jest funkcją liniową tego kąta

$$(2) \quad U_p = kx$$

przy czym: k — stała zależna od rodzaju potencjometru, sygnał U_p musi być poddany dalszej obróbce tak, aby był proporcjonalny do momentu M_h . Do tego celu użyto generatora diodowego aproksymującego funkcję sinusoidalną odcinkami prostymi. Jest możliwy odczyt bezpośredni momentu obciążenia na podziałce umieszczonej na stanowisku lub pośredni — za pomocą miernika cyfrowego N1 napięcia stałego. Do pomiaru prędkości zastosowano przetwornik fotoelektryczny składający się z tarczy impulsowej o 60 otworach, transoptora oraz miernika cyfrowego N2 prędkości obrotowej. Stanowisko jest

wyposażone również dodatkowo w prądniczkę tachometryczną synchroniczną.

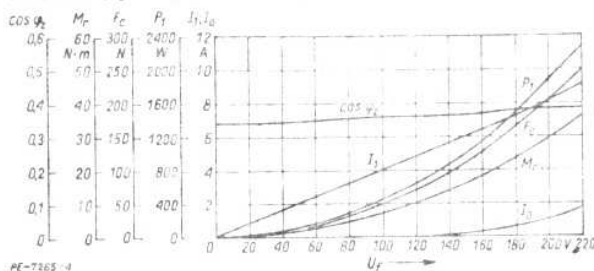
Mierniki cyfrowe N1 oraz N2 są umieszczone we wspólnej obudowie, w której mieści się również układ elektroniczny dopasowujący wejście pisaka X—Y do rejestracji charakterystyk mechanicznych.

Jako element napędowy do przemieszczania promieniowego części pierwotnej zastosowano silnik prądu stałego małej mocy z wbudowaną przekładnią redukującą prędkość obrotową. Załączenie silnika prądu stałego powoduje obracanie się śruby prowadzącej, a tym samym nakrętki wraz z częścią pierwotną w górę lub w dół. W ten sposób można w sposób mechaniczny regulować prędkość obrotową tarczy $n = v/\pi D = v/2\pi\tau$. Łączniki krańcowe umożliwiają automatyczną zmianę kierunku przemieszczania się części pierwotnej, po jej dojściu w górne lub dolne skrajne położenie. Zakres promieniowego przemieszczania się części pierwotnej wynosi $0,144 \leq r \leq 0,264$ m.

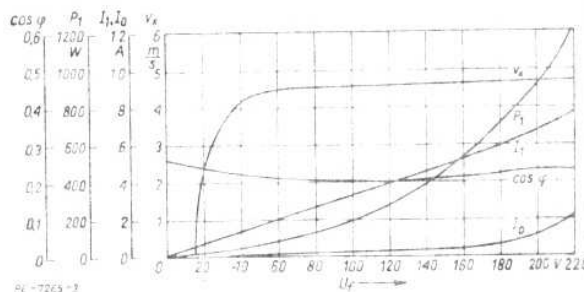
Widok stanowiska jest przedstawiony na rys. 2. Stanowisko daje możliwość zbadania charakterystyk maszyn indukcyjnych liniowych jednostronnych o dwuwarstwowej części wtórnej poza zakresem pracy silnikowej, dotychczas nie w pełni znanych, które zostaną przedstawione w następnych rozdziałach.

Badanie pracy silnikowej

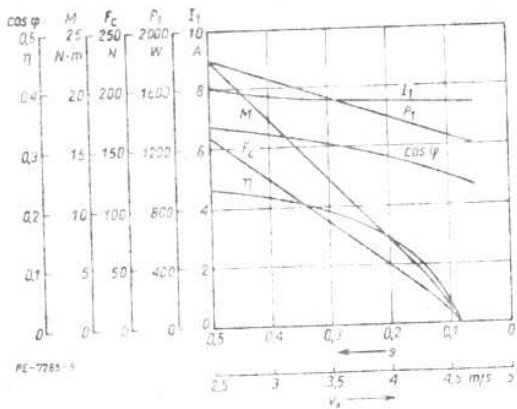
Schemat ideowy połączeń elektrycznych jest taki sam jak w przypadku silnika indukcyjnego wirującego. Maszyna prądu stałego pracuje jako hamulec. Pomiaru charakterystyk biegu jałowego (rys. 3), zwarcia (rys. 4) oraz obciążenia (rys. 5) zostały wy-



Rys. 3. Praca silnikowa — charakterystyki biegu jałowego ($r = 0,144$ m)

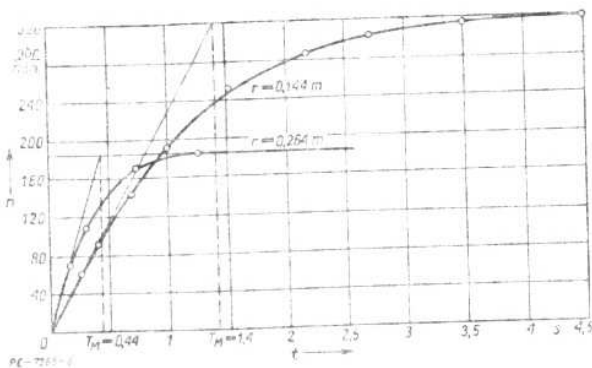


Rys. 4. Praca silnikowa — charakterystyki zwarcia ($r = 0,144$)

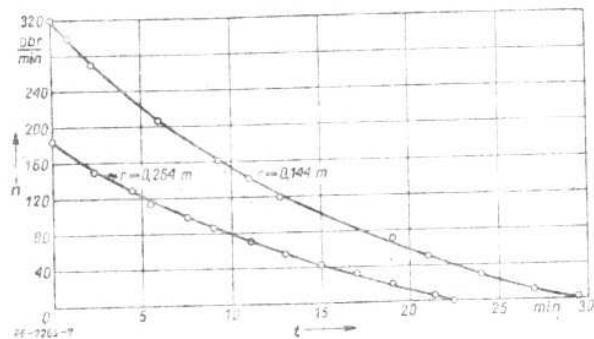


Rys. 5. Charakterystyki obciążenia przy pracy silnikowej ($U = U_n = 380 \text{ V}$, $r = 0,144 \text{ m}$)

konane przy odległości induktora od środka tarczy wynoszącej $r = 0,144 \text{ m}$. Próbę obciążenia wykonano przy znamionowym napięciu międzyprzewodowym, które dla uzwojen części pierwotnej połączonych w gwiazdę wynosi $U = U_n = 380 \text{ V}$. Wykonano również pomiary w stanach przejściowych, tzn. krzywych rozruchu $n(t)$ silnika nieobciążonego dla $U = U_n$, $r = 0,144 \text{ m}$ i $r = 0,264 \text{ m}$ (rys. 6) oraz wybiegu $n(t)$ przy tych samych parametrach (rys. 7). Stała czasowa elektromechaniczna zależy od promienia r — jest rzędu kilku do kilkunastu dziesiątych części sekundy, czas wybiegu zawiera się w przedziale 20–30 min.



Rys. 6. Krzywa rozruchu $n = f(t)$ silnika nieobciążonego dla dwóch skrajnych położen części pierwotnej: $r = 0,144 \text{ m}$ oraz $r = 0,264 \text{ m}$

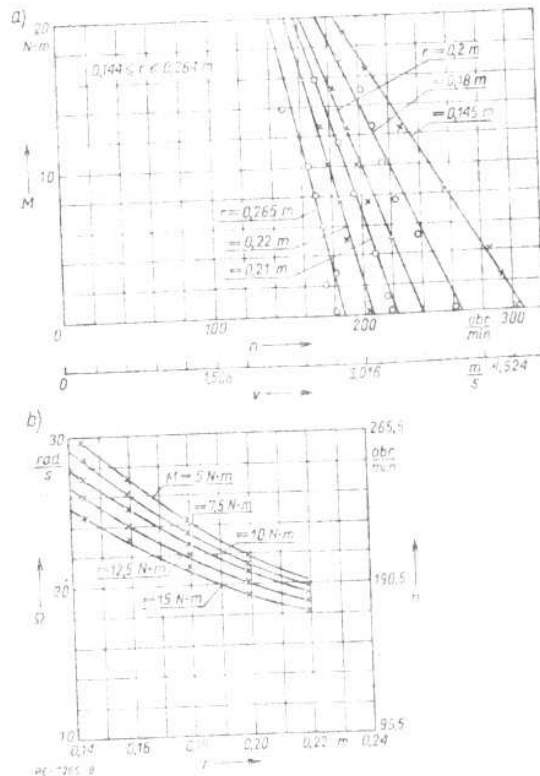


Rys. 7. Krzywe wybiegu $n = f(t)$ silnika nieobciążonego dla dwóch skrajnych położen części pierwotnej: $r = 0,144 \text{ m}$ oraz $r = 0,264 \text{ m}$

Regulacja mechaniczna prędkości obrotowej podczas pracy silnikowej

W wielu napędach przemysłowych, np. dźwignic [7], w przemyśle włókienniczym [4], na statkach [7] silnik indukcyjny liniowy o części wtórnej tarczowej

stosowany jest do regulacji mechanicznej prędkości obrotowej. W rozpatrywanym stanowisku istnieje możliwość regulacji zdalnej prędkości poprzez posuw promieniowy części pierwotnej. Charakterystyki mechaniczne $M(n)$ przy $r = \text{const}$ i $U = U_n = 380 \text{ V}$ przedstawiono na rys. 8a, charakterystyki regulacyjne przy $M = \text{const}$ i $U = U_n = 380 \text{ V}$ zaś na rys. 8b.



Rys. 8. Regulacja prędkości tarczy przez zmianę położenia promieniowego części pierwotnej: a) charakterystyki mechaniczne przy $r = \text{const}$ i $U_n = 380 \text{ V}$; b) charakterystyki regulacyjne przy $M = \text{const}$ i $U_n = 380 \text{ V}$

Praca prądnicowa

Maszyna indukcyjna może m. in. pracować jako prądnica obcowa lub samowzbudna. Praca prądnicy indukcyjnej bez obecności maszyny synchronicznej jest możliwa w przypadku kompensacji prądu biernego indukcyjnego za pomocą równoległe załączonych kondensatorów. Prądnica będzie pracować jako samowzbudna, kiedy prąd pojemnościowy baterii kondensatorów pobierany z sieci będzie równy prądowi magnesującemu pobieranemu przez prądnicę, przy spełnieniu innych warunków dodatkowych. Pojemność zapewniająca wzbudzenie się prądnicy do żądanych wartości napięcia i częstotliwości przy biegu jałowym powinna wynosić

$$(3) \quad C = \frac{I_{\mu 0}}{2\pi f U_{j0}}$$

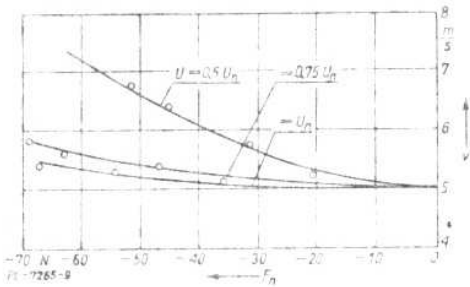
przy czym: $I_{\mu 0}$ — prąd magnesujący przy biegu jałowym; U_{j0} — napięcie fazowe przy biegu jałowym; f — częstotliwość.

Przykładowo dla $f = 50 \text{ Hz}$ ($n = 1500 \text{ obr/min}$, $2p = 4$), $I_{\mu 0} = 7,1 \text{ A}$, $U_{j0} = 200 \text{ V}$, pojemność $C = 113 \mu\text{F}$; dla $f = 20 \text{ Hz}$, ($n = 600 \text{ obr/min}$, $2p = 4$); $I_{\mu 0} = 7,1 \text{ A}$, $U_{j0} = 80 \text{ V}$, natomiast $C = 706,6 \mu\text{F}$.

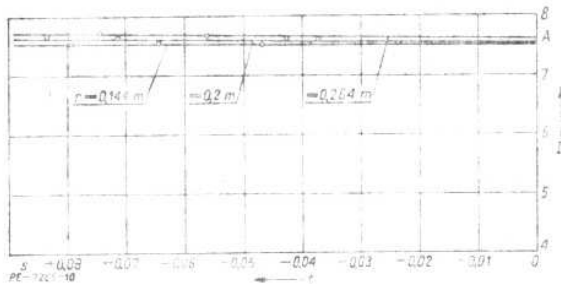
Zastosowanie maszyny liniowej jako prądnicy samowzbudnej nie dało oczekiwanych rezultatów wskutek prostoliniowości charakterystyki magnesowania (duża szczelina powietrzna — nienasycony obwód magnetyczny), nie przecinającej się z prostą napięcia na kondensatorze. Zaobserwowano również brak magnetyzmu szczątkowego do zainicjowania procesu samowzbudzenia.

Hamowanie prądnicowe

Hamowanie prądnicowe ma miejsce przy prędkości większej od prędkości synchronicznej, gdy maszyna pracuje jako prądnicą indukcyjną. Układ połączeń elektrycznych jest taki sam, jak dla maszyny wirującej. Maszyna prądu stałego pracuje jako silnik i napędza tarczę. Regulacji prędkości dokonywano zmieniając prąd zasilający twornik maszyny prądu stałego. W przypadku pracy hamulcowej będzie poniżej używane pojęcie „siła hamująca F_h ” zamiast „siły ciągu F_c ”. Zależność prędkości liniowej v od siły hamującej F_h dla $r = 0,144$ m i $U = \text{const}$ przedstawiono na rys. 9, a zależność prądu fazowego I maszyny liniowej od poślizgu s dla $U = U_n = 380$ V i $r = \text{const}$ — na rys. 10.



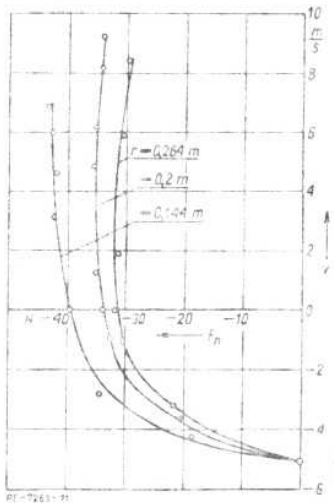
Rys. 9. Hamowanie prądnicowe — zależności prędkości liniowej v od siły hamującej F_h dla $r = 0,144$ m i $U = \text{const}$



Rys. 10. Hamowanie prądnicowe — zależność prądu fazowego I od poślizgu s dla $U = U_n = 380$ V i $r = \text{const}$

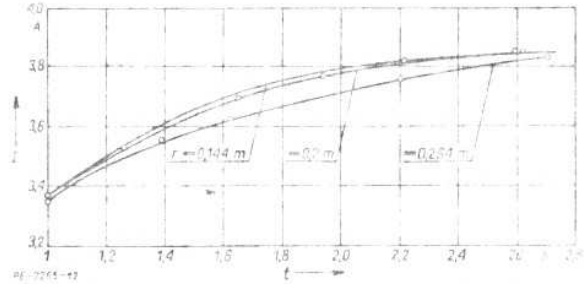
Hamowanie przeciwprądowe

Tarcza maszyny indukcyjnej liniowej przy hamowaniu przeciwprądem wiruje w kierunku przeciwnym do kierunku wirowania pola magnetycznego, zatem maszyna pracuje przy poślizgu $s > 1$. Układ pomiarowy jest taki sam, jak przy hamowaniu prą-

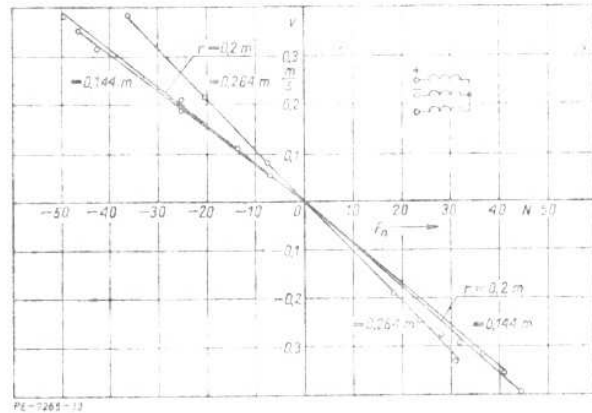


Rys. 11. Hamowanie przeciwprądowe — zależności prędkości liniowej v od siły hamującej F_h dla $U = 0,4U_n$ i $r = \text{const}$

dnicowym, przy czym zmieniona jest biegunowość zacisków twornika maszyny prądu stałego. Z uwagi na duże prądy występujące przy tym hamowaniu, pomiary wykonano przy napięciu $U = 0,4 U_n$. Zależność prędkości liniowej v od siły hamującej F_h dla $U = 0,4 U_n$ i $r = \text{const}$ przedstawiono na rys. 11, a zależność prądu fazowego I od poślizgu przy takich samych parametrach — na rys. 12.



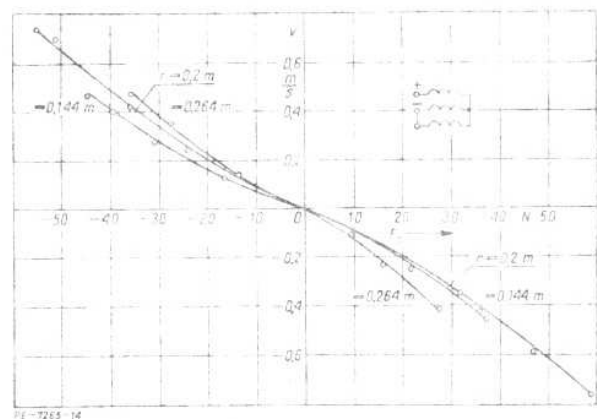
Rys. 12. Hamowanie przeciwprądowe — zależności prądu fazowego I od poślizgu s dla $U = 0,4U_n$ i $r = \text{const}$



Rys. 13. Hamowanie dynamiczne (zasilane prądem stałym uzwojenia dwóch faz części pierwotnej połączone są szeregowo) — zależności prędkości liniowej v od siły hamującej F_h dla prądu hamowania $I_h = 8$ A i $r = \text{const}$

Hamowanie dynamiczne

Hamowanie dynamiczne polega na odłączeniu uzwojeń części pierwotnej od sieci trójfazowej i zasilaniu ich z sieci prądu stałego. Maszyna liniowa pracuje jako hamulec wiroprądowy o biegunach utajonych. Układ pomiarowy nie różni się od układu dla maszyny wirującej. Charakterystyki mechaniczne $v(F_h)$ dla dwóch rodzajów połączeń uzwojeń części pierwotnej oraz prądu części pierwotnej $I_h = 8$ A i $r = \text{const}$ przedstawiono na rys. 13 i 14.

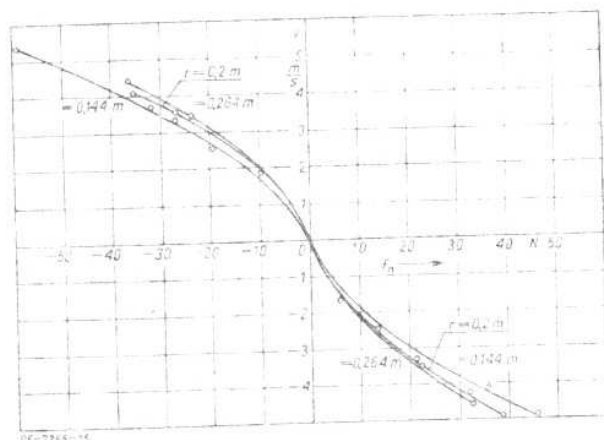


Rys. 14. Hamowanie dynamiczne (zasilane prądem stałym uzwojenia trzech faz części pierwotnej połączone są szeregowo-równolegle) — zależności prędkości liniowej v od siły hamującej F_h dla prądu hamowania $I_h = 8$ A i $r = \text{const}$

Hamowanie jednofazowe

Hamowanie jednofazowe polega na odłączeniu uzwojenia dowolnej jednej fazy części pierwotnej i jej przyłączeniu równoległe do uzwojenia dowolnej, innej fazy. Uzyskuje się w ten sposób silnik jednofazowy o polu magnetycznym pulsującym w szczelinie powietrznej. Część pierwotną silnika indukcyjnego liniowego zasilano z autotransformatora 3-fazowego odłączając wcześniej jedną z faz (W) i podłączając do innej fazy (V).

Do napędu tarczy wykorzystano maszynę prądu stałego. Charakterystyki mechaniczne $v(F_h)$ przy prądzie hamowania $I_h = 8 \text{ A}$ i $r = \text{const}$ przedstawiono na rys. 15.

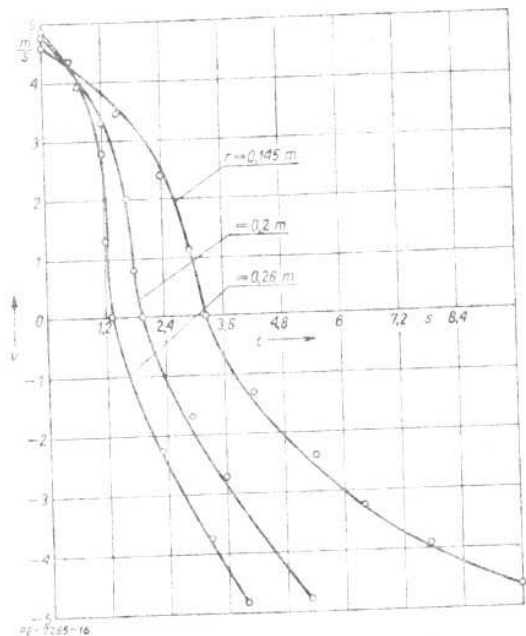


Rys. 15. Hamowanie jednofazowe — zależności prędkości liniowej v od siły hamowania F_h dla prądu hamowania $I_h = 8 \text{ A}$ i $r = \text{const}$.

Praca nawrotna

Nawrót jest to hamowanie aż do zatrzymania, a następnie rozruch w kierunku przeciwnym. Przy nawrotach stosuje się hamowanie przeciwprądowe lub hamowanie dynamiczne.

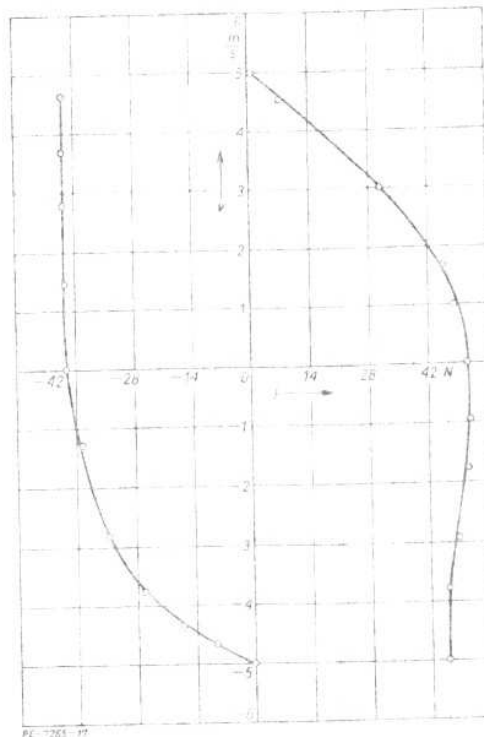
Układy pomiarowe są takie same jak dla maszyn wirujących. Ze względu na bardzo krótki czas nawrotu przy napięciu znamionowym, charakterystyki dynamiczne nawrotu wyznaczono przy napięciu ob-



Rys. 16. Praca nawrotna — zależność prędkości liniowej v od czasu nawrotu t dla $U = 0,75U_n$ i $r = \text{const}$ (maszyna nie obciążona).

niżonym $U = 0,85U_n$. Z uwagi na szybkie zmiany mocy, prądu i prędkości silnika indukcyjnego liniowego, pomiary wykonano 3-krotnie w takim samym czasie i jako wartość rzeczywistą przyjęto wartość średnią z tych pomiarów. Przed przystąpieniem do pomiarów prędkości, prądu i mocy, wyznaczono zależność czasu nawrotu od odległości części pierwotnej do osi obrotu tarczy. Charakterystyki dynamiczne nawrotu $v(t)$ dla $U = 0,75U_n$ i $r = \text{const}$ przedstawiono na rys. 16.

Wyznaczenie charakterystyk statycznych przy pracy nawrotnej odbywa się podobnie jak wyznaczenie charakterystyk dynamicznych, przy czym oprócz hamowania przeciwprądowego przy zatrzymaniu tarczy maszyna liniowa pracuje dalej jako silnik. Ze względu na małą moc silnika napędowego prądu stałego pomiary wykonano przy napięciu obniżonym $U = 0,5U_n$. Charakterystyki mechaniczne $v(F)$ dla $U = 0,5U_n$ i $r = \text{const}$ przedstawiono na rys. 17.



Rys. 17. Praca nawrotna — charakterystyki mechaniczne $v(F)$ dla $U = 0,5U_n$ i $r = \text{const}$.

W pierwszej i trzeciej ćwiartce układu współrzędnych $v-F$ ma miejsce praca silnikowa z tym, że w trzeciej ćwiartce prędkość jest przeciwna niż w ćwiartce pierwszej. W ćwiartce drugiej i czwartej natomiast ma miejsce hamowanie przeciwprądowe.

Wnioski

Skonstruowane stanowisko do badania maszyn indukcyjnych liniowych płaskich jednostronnych może być wykorzystane zarówno do badań naukowych, jak i w procesie nauczania maszyn elektrycznych na poziomie wyższym lub średnim. Oprócz pracy silnikowej można badać charakterystyki maszyny indukcyjnej liniowej podczas pracy hamulcowej i podczas nawrotu. Istnieje możliwość rejestracji charakterystyk mechanicznych oraz pracy z automatycznym cyfrowym systemem pomiarowym.

Wadą stanowiska jest możliwość nierównoległego ustawiania się tarczy względem powierzchni aktywnej rdzenia części pierwotnej wskutek sił naciągu magnetycznego.

Maszyny indukcyjne liniowe jednostronne o dwuwarstwowej części wtórnej nie nadają się do pracy prądnicowej. Hamowanie prądnicowe jest najbardziej

efektywne przy zasilaniu napięciem znamionowym. Istotne znaczenie dla przebiegu charakterystyk mechanicznych ma odległość części pierwotnej od osi wału tarczy. Hamowanie przeciwprądowe jest hamowaniem intensywnym, gdyż niewielkie zmiany siły hamującej powodują duże zmiany prędkości. Moc w zakresie hamowania przeciwprądowego jest stała i niezależna od odległości części pierwotnej od osi wału tarczy.

Przy hamowaniu dynamicznym większą intensywność hamowania uzyskuje się przy połączeniu szeregowym dwóch uzwojeń fazowych niż przy połączeniu szeregowo-równoległym trzech uzwojeń fazowych części pierwotnej. Hamowanie jest tym bardziej skuteczne, im większy jest prąd zasilania części pierwotnej, jednak większą sprawność uzyskuje się przykładowo przy prądzie $I_h = 5$ A niż przy prądzie $I_h = 8$ A.

Charakterystyki mechaniczne hamowania jednofazowego są ustępliwe pod wpływem siły hamującej. Wpływ odległości części pierwotnej od osi wału na ustępliwość jest niewielki. Przy zasilaniu części pierwotnej napięciem wyższym czas hamowania jest krótszy.

Czas nawrotu silnika indukcyjnego liniowego wyraźnie zależy od odległości części pierwotnej od osi wału. Odległość ta ma również wpływ na przebiegi prądu, prędkości i mocy w zależności od czasu. Można zauważyć, że badany silnik indukcyjny liniowy rozwija największą siłę ciągu na początku rozruchu.

Autor dziękuje swoim Dyplomantom z Akademii Techniczno-Rolniczej w Bydgoszczy — Panom: mgr inż. Leszkowi Bukowieckiemu, mgr inż. Krzysztofowi Drozdowskiemu, mgr inż. Markowi Stevesandowi, mgr inż. Leszkowi Stędzowi oraz mgr inż. Waldemarowi Zmunko za współpracę.

- [1] Blannu A., Gavril S., Schieber D.: Speed regulation of a linear motor with disk-rotor by radial displacement of stator. Konferencja „Maszyny elektryczne specjalne”. Bydgoszcz SEP 1979.
- [2] Gieras J.: Simplified theory of double-sided linear induction motor with squirrel-cage elastic secondary. *Electric Power Application Proc. IEE, Part B* 1983.
- [3] Kamiński G., Przyborowski W.: Metody analizy pola magnetycznego w indukcyjnym silniku liniowym z bieżnikiem pasowym. XIV Sympozjum Maszyn Elektrycznych. Warszawa — Jadwisin 1978.
- [4] Komeza K., Wiak S., Rakoczy Z.: Badanie dynamiki ruchu wciągnika galwanizatorskiego napędnego silnikami liniowymi. *Zeszyty Naukowe PL „Elektryka”* 1983 nr 432, s. 74.
- [5] Nasar S. A.: Electromagnetic fields and forces in a linear induction motor, taking into account edge-effects. *Proc. IEE Vol. 116* 1969 No. 4.
- [6] Nasar S. A., Bolden I.: Linear motion electric machines. New York — London — Sydney — Toronto 1976 John Wiley and Sons.
- [7] Pawluk K., Szczepański W.: Silniki elektryczne liniowe. Warszawa 1974 WNT.
- [8] Pietrzak S., Zakrzewski K.: Układ do pomiaru charakterystyk statycznych silnika liniowego dwustronnego. *Zeszyty Naukowe PL „Elektryka”* 1983 nr 432 s. 74.
- [9] Poloujadoff M.: The theory of Linear Induction Machinery. Oxford 1980 Clarendon Press.
- [10] Teoria elektromechanicznego przetwarzania energii, cz. II. Cwiczenia laboratoryjne — pod redakcją A. Kostkowskiego. Wrocław 1979 Wyd. Politechniki Wrocławskiej.
- [11] Trzynadłowski A., Zalas A.: Zastosowanie silnika liniowego do napędu obrotowego. Katowice 1978. *Zeszyty Problematyczne Nr 24 BOBRME*.
- [12] Zamojski J., Solnicki H., Królikowski W.: Wyniki badań próbnego odcinka transportu z silnikami liniowymi rozłożonymi wzdłuż toru. Katowice 1978. *Maszyny elektryczne. Zeszyty problemowe nr 24*.