

Aleksander Żywiec, Władysław Mizia,
Andrzej Boboń

Zakład Maszyn Elektrycznych
Politechniki Śląskiej

WŁASNOŚCI SILNIKA INDUKCYJNEGO PRZY ZASILANIU Z KOMUTATORA TYRYSTOROWEGO

Streszczenie. Przedstawiono wyniki badań własności silnika indukcyjnego klatkowego przy zasilaniu napięciem trójfazowym odkształconym otrzymywanym z komutatora tyrystorowego. Własności silnika zasilanego z komutatora tyrystorowego porównano z własnościami silnika zasilanego napięciem sinusoidalnym z sieci przemysłowej. Podano podstawowe wytyczne budowy silników indukcyjnych przystosowanych do zasilania z komutatora tyrystorowego.

1. Wstęp

W napędach elektrycznych z silnikami indukcyjnymi małej i średniej mocy znajduje zastosowanie metoda nastawy prędkości obrotowej silnika przez zmianę wartości napięcia zasilania stojana przy stałej częstotliwości. Przy tym sposobie nastawy prędkości obrotowej silnika indukcyjnego obciążonego stałym momentem w miarę zmniejszania prędkości obrotowej maleje współczynnik sprawności silnika. Zatem praca silnika w zakresie małych prędkości obrotowych przy ciągłym obciążeniu stałym momentem byłaby możliwa przy znacznym przewymiarowaniu mocy znamionowej silnika w stosunku do mocy obciążenia. Przewymiarowanie silnika zmniejsza się znacznie w przypadku, gdy moment obciążenia silnika maleje w miarę zmniejszania jego prędkości obrotowej. Dlatego wymieniona metoda nastawy prędkości obrotowej jest stosowana głównie w napędach urządzeń o kwadratowej zależności momentu obciążenia od prędkości obrotowej, a w szczególności w napędach pomp i wentylatorów.

Metoda nastawy prędkości obrotowej silnika indukcyjnego przez zmianę wartości napięcia zasilania stojana przy stałej częstotliwości jest znana od dawna. Znalazły tu zastosowanie wzmacniacze magnetyczne transduktorowe, a obecnie coraz powszechniej stosuje się układy półprzewodnikowe (komutatory tyrystorowe). Przez zastosowanie komutatorów tyrystorowych w miejsce wzmacniaczy magnetycznych transduktorowych otrzymuje się znaczne zmniejszenie gabarytu układu zasilającego przy równoczesnej poprawie jego własności regulacyjnych i eksploatacyjnych. Układ z komutatorami tyrystorowymi charakteryzują się dużą pewnością działania i w zasadzie nie wymagają konserwacji.

Napięcie wyjściowe komutatora tyrystorowego zasilanego z sieci przemysłowej jest odkształcone, przy czym stopień odkształcenia krzywej napięcia zmienia się przy zmianie wartości tego napięcia. Powoduje to pogorszenie się własności ruchowych i eksploatacyjnych silnika zasilanego z komutatora tyrystorowego w porównaniu z własnościami silnika przy zasilaniu napięciem sinusoidalnym.

W niniejszej pracy przedstawiono wyniki pomiarów i badań silnika indukcyjnego klatkowego przy zasilaniu z komutatora tyrystorowego oraz z sieci przemysłowej. Badany silnik indukcyjny był silnikiem seryjnym przystosowanym do zasilania napięciem sinusoidalnym. Dla oceny wpływu odkształconego napięcia zasilania na własności ruchowo-eksploatacyjne silnika przeprowadzono porównanie wyników pomiarów silnika przy obu rodzajach zasilania. Porównanie takie pozwala ponadto na prawidłowy dobór silników indukcyjnych obecnie produkowanych zasilanych z komutatora tyrystorowego do konkretnych układów napędowych oraz na ustalenie podstawowych wytycznych do budowy silników indukcyjnych klatkowych przystosowanych do zasilania z komutatora tyrystorowego.

2. Przedmiot badań oraz zastosowane źródła zasilania

Własności ruchowe silnika indukcyjnego klatkowego zależą od rozwiązania źródła zasilania uzwojenia stojana oraz od parametrów samego silnika. Względne wartości parametrów silników indukcyjnych nie są stałe ale zależą od danych znamionowych silnika a w szczególności od mocy znamionowej, napięcia i prędkości obrotowej. Z tego powodu jako przedmiot badań wybrano seryjny silnik indukcyjny klatkowy o danych znamionowych: 11 kW, 380 V, 50 Hz, 960 obr/min, który można traktować jako reprezentanta grupy silników indukcyjnych powszechnego zastosowania o mocach od kilku do kilkunastu kW.

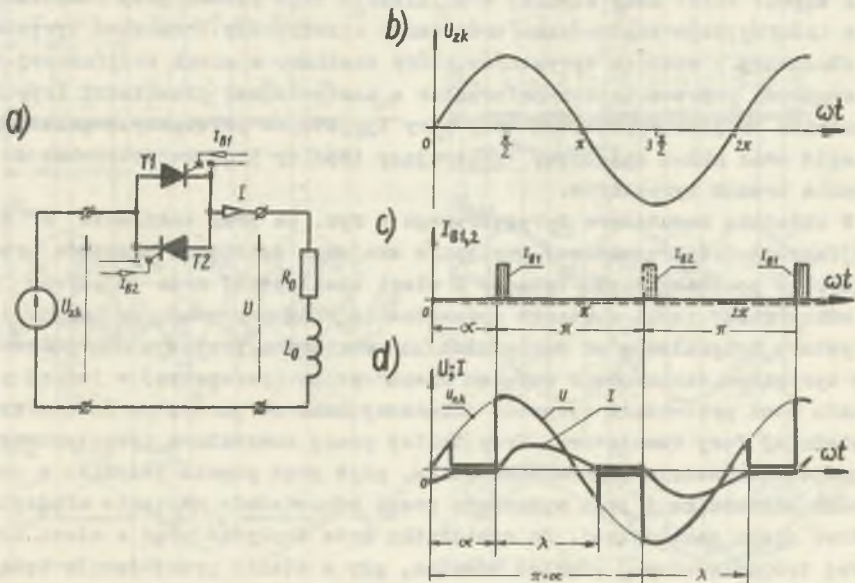
Badania i pomiary własności ruchowych silnika indukcyjnego klatkowego przeprowadzono przy zasilaniu uzwojenia stojana:

- napięciem sinusoidalnym, którego źródłem była trójfazowa sieć przemysłowa o częstotliwości 50 Hz przyłączona do stojana maszyny poprzez autotransformator trójfazowy o nastawialnej przekładni,
- napięciem odkształconym, którego źródłem był komutator tyrystorowy trójfazowy zasilany z sieci przemysłowej poprzez autotransformator trójfazowy o nastawialnej przekładni.

Istnieje szereg rozwiązań trójfazowych komutatorów napięcia różniących się między sobą liczbą tyrystorów oraz sposobem ich połączenia z siecią zasilającą i odbiornikiem. Z tego powodu zostanie przedstawiona zasada działania komutatorów tyrystorowych oraz rozwiązanie schematowe i ogólne własności trójfazowego komutatora tyrystorowego zastosowanego przy pomiarach silnika indukcyjnego badanego. Znajomość rozwiązania schematowego zasto-

sowanego komutatora tyrystorowego pozwoli na właściwą transpozycję wyników pomiarowych podanych w niniejszej pracy na przypadki zastosowania innych rozwiązań komutatorów tyrystorowych do zasilania silnika indukcyjnego.

Zasada działania komutatorów tyrystorowych wynika z możliwości nastawy wartości skutecznej (i średniej) napięcia przemiennego przyłożonego do odbiornika za pomocą wyłącznika szybko działającego włączonego pomiędzy sieć zasilającą i odbiornik. W komutatorach tyrystorowych rolę wyłącznika szybko działającego spełniają tyrystory. Jednofazowy komutator tyrystorowy stanowi układ przeciwrotnoległego połączenia dwu tyrystorów (rys. 1a). W stanie przewodzenia dowolnego z tyrystorów napięcie odbiornika jest równe napięciu sieci zasilającej, natomiast jeśli obydwa tyrystory pracują w stanie zaporowym lub w stanie blokady, odbiornik jest odłączony od sieci zasilającej. Tyrystory spolaryzowane napięciem sieci zasilającej w kierunku przewodzenia przechodzą w stan przewodzenia w chwili doprowadzenia impulsów prądowych (I_{B1} , I_{B2} generowanych w układzie zapłonowym UZ - rys. 1) do ich bramek. Przewodzące tyrystory przechodzą w stan zaporowy w wyniku zmniejszenia ich prądów anodowych (poniżej tzw. "prądu podtrzymującego") spowodowanego naturalną zmianą biegunowości napięcia anodowego wymuszanego przez sieć zasilającą. Czas przewodzenia tyrystorów jest wyrażany za pomocą tzw. kąta przewodzenia λ . Kąt przewodzenia (λ) zależy od kąta opóźnienia zapłonu (α) oraz od współczynnika mocy odbiornika ($\cos \varphi$).



Rys. 1. Jednofazowy tyrystorowy komutator napięcia przy obciążeniu o charakterze czynno-indukcyjnym

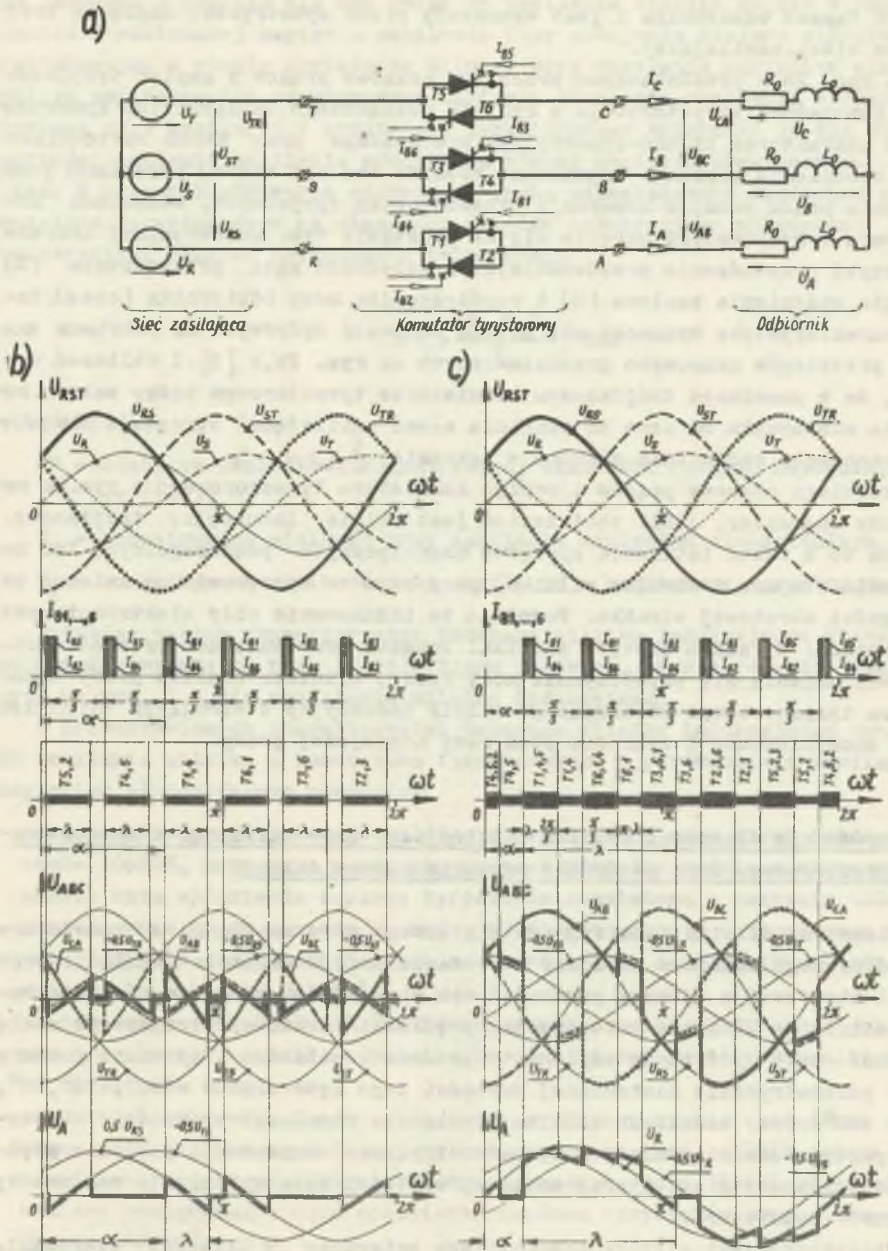
a) schemat ideowy; b), c), d) przebiegi czasowe prądów i napięć

Na rys. 1b,c,d przedstawiono przebiegi czasowe prądów i napięć dla przypadku symetrycznego sterowania tyrystorów. W układzie jednofazowego komutatora napięcia nastawę napięcia odbiornika w zakresie od zera do napięcia sieci zasilającej otrzymuje się przez zmianę kąta opóźnienia zapłonu w zakresie $\mu > \alpha > \psi$

Układ jednofazowego komutatora napięcia przedstawiony na rys. 1 stanowi podstawę do budowy układów trójfazowych i wielofazowych. Układy trójfazowe komutatorów tyrystorowych w ogólności dzielą się na układy symetryczne i niesymetryczne. Do układów symetrycznych zalicza się takie komutatory tyrystorowe, które przy symetrycznej i sinusoidalnej sieci zasilającej umożliwiają otrzymanie na zaciskach symetrycznego odbiornika napięcia odkształconego trójfazowego, jednakowego kształtu we wszystkich fazach odbiornika, lecz o wzajemnym przesunięciu fazowym równym $\frac{1}{3}$ okresu napięcia sieci zasilającej. Układy symetryczne trójfazowych komutatorów tyrystorowych znajdują szersze zastosowanie w szczególności do nastawy prędkości obrotowej silników indukcyjnych. Zasadnicze rozwiązania symetrycznych trójfazowych komutatorów tyrystorowych są szczegółowo omawiane w literaturze technicznej ([1], [3], [5]).

Do zasilania silnika indukcyjnego jest wskazane zastosowanie układu komutatora tyrystorowego, który zapewni najmniejsze odkształcenie krzywej napięcia przyłożonego do silnika. Wyższe harmoniczne napięcia zasilania silnika są niepożądane, bowiem powodują powstanie momentów pasożytniczych oraz wzrost strat mocy czynnej w silniku. Z tego powodu przy badaniach silnika indukcyjnego zastosowano trójfazowy symetryczny komutator tyrystorowy zbudowany z sześciu tyrystorów, który zasilano z sieci trójfazowej-trójprzewodowej poprzez autotransformator o nastawialnej przekładni (rys. 2a). Komutator trójfazowy zawiera trzy pary tyrystorów połączonych przeciwnoległe oraz układ zapłonowy generujący impulsy prądowe potrzebne do sterowania bramek tyrystorów.

W układzie komutatora tyrystorowego z rys. 2a przy zasilaniu z sieci trójfazowej-trójprzewodowej występuje wzajemna zależność procesów zachodzących w poszczególnych fazach. Z sieci zasilającej może dopływać prąd do odbiornika, jeśli w stanie przewodzenia będą pracować co najmniej dwa tyrystory przynależne od sąsiednich faz komutatora, przyczym przy przewodzeniu tyrystora oznaczonego numerem nieparzystym (parzystym) w jednej z faz układu musi przewodzić tyrystor oznaczony numerem parzystym (nieparzystym) sąsiedniej fazy komutatora. Przy takiej pracy komutatora tyrystorowego występuje niesymetria prądów odbiornika, gdyż prąd płynie jedynie w dwóch fazach odbiornika i jest wymuszany przez odpowiednie napięcie międzyprzewodowe sieci zasilającej. Do odbiornika może dopłynąć prąd z sieci trójfazowej trójprzewodowej również wówczas, gdy w stanie przewodzenia będą pracować trzy tyrystory przynależne do trzech faz komutatora, przy czym przy przewodzeniu w wybranej fazie tyrystora oznaczonego numerem nieparzystym (parzystym) muszą przewodzić tyrystory oznaczone numerem parzystym (nieparzystym) obu sąsiednich faz komutatora. Przy takiej pracy komutatora ty-



Rys. 2. Trójfazowy symetryczny komutator tyrystorowy przy obciążeniu o charakterze czynno-indukcyjnym

a) schemat ideowy; b), c) przebiegi czasowe prądów i napięć

rystorowego występuje symetria prądów odbiornika, ponieważ prąd płynie w trzech fazach odbiornika i jest wymuszany przez symetryczne napięcie trójfazowe sieci zasilającej.

Na rys. 2b,c przedstawiono przebiegi czasowe prądów i napięć trójfazowego komutatora tyrystorowego z rys. 2a obciążonego odbiornikiem symetrycznym o charakterze czynno-indukcyjnym pracującego przy dwóch wartościach kąta opóźnienia zapłonu. Zaznaczono również (na osi czasu) przedziały przewodzenia prądu podając numerację przewodzących tyrystorów. Własności komutatora tyrystorowego określa się na podstawie tzw. uniwersalnej charakterystyki przewodzenia przedstawiającej zależność kąta przewodzenia (λ) od kąta opóźnienia zapłonu (α) i współczynnika mocy odbiornika ($\cos \varphi$). Taką charakterystykę wyznacza się metodą obliczeń cyfrowych na podstawie analizy przebiegów czasowych przedstawionych na rys. 2b,c [3]. Z obliczeń wynika, że w omawianym trójfazowym komutatorze tyrystorowym pełny zakres napięcia odbiornika od zera do napięcia sieci zasilającej otrzymuje się przy zmianach kąta opóźnienia zapłonu w zakresie $\frac{5}{6} \pi > \alpha > \varphi$

Przebiegi czasowe prądów i napięć komutatora tyrystorowego z rys. 2a mają inny charakter, jeśli obciążeniem jest silnik indukcyjny trójfazowy. Wynika to z faktu istnienia sprzężeń magnetycznych poszczególnych faz uzwojenia stojana i wirnika silnika, przy czym te sprzężenia są zależne od prędkości obrotowej wirnika. Powoduje to indukowanie siły elektromotorycznej rotacji w fazach uzwojeń silnika. Ponadto przy zmianach prędkości obrotowej zmienia się współczynnik mocy ($\cos \varphi$) silnika. Analiza pracy komutatora tyrystorowego zasilającego silnik indukcyjny z wirującym wirnikiem jest skomplikowana i wykracza poza ramy niniejszej pracy.

3. Porównanie własności silnika indukcyjnego przy zasilaniu z komutatora tyrystorowego oraz ze źródła napięcia sinusoidalnego

Własności silnika indukcyjnego klatkowego przy zasilaniu z komutatora tyrystorowego badano w układzie sterowania oraz w układzie regulacji prędkości obrotowej z ujemnym prędkościowym sprzężeniem zwrotnym. Podczas badań silnika w układzie sterowania prędkości obrotowej utrzymywano stałą wartość kąta opóźnienia zapłonu tyrystorów komutatora i wykonano pomiary przy parametrycznie nastawianej wartości tego kąta dla $\alpha = 60^\circ, 70^\circ, 80^\circ, 90^\circ, 100^\circ$. Przy badaniach silnika w układzie regulacji prędkości obrotowej przeprowadzono pomiary przy parametrycznie nastawianym poziomie prędkości obrotowej a zatem przy zmiennej wartości kąta opóźnienia zapłonu tyrystorów komutatora.

Charakterystyki silnika indukcyjnego zmierzone w układzie sterowania prędkości obrotowej można wyzyskać do oceny zmian własności silnika zasilanego z komutatora tyrystorowego w porównaniu z zasilaniem ze źródła napięcia sinusoidalnego. Dla obu typów zasilania zmierzono charakterystyki silnika przy biegu jałowym, zwarcu i przy obciążeniu. Charakterystyki bie-

gu jałowego i zwarcia dla obu rodzajów zasilania silnika zdjęto w funkcji wartości skutecznej napięcia zasilania fazy uzwojenia stojana silnika. Charakterystyki w stanie obciążenia silnika przy zasilaniu napięciem sinusoidalnym zmierzone dla znamionowego napięcia zasilania uzwojenia stojana, natomiast przy zasilaniu z komutatora tyrystorowego zmierzono je dla stałej wartości napięcia zasilania komutatora równej napięciu znamionowemu silnika. W celu zilustrowania wpływu zasilania odkształconym napięciem z komutatora tyrystorowego na własności silnika indukcyjnego wyznaczono charakterystyki silnika obliczone z zależności:

$$\delta W = \frac{W_s - W_k}{W_s} \cdot 100$$

w której:

δW - odchyłka procentowa rozpatrywanej wielkości (prądu, napięcia, mocy itp.),

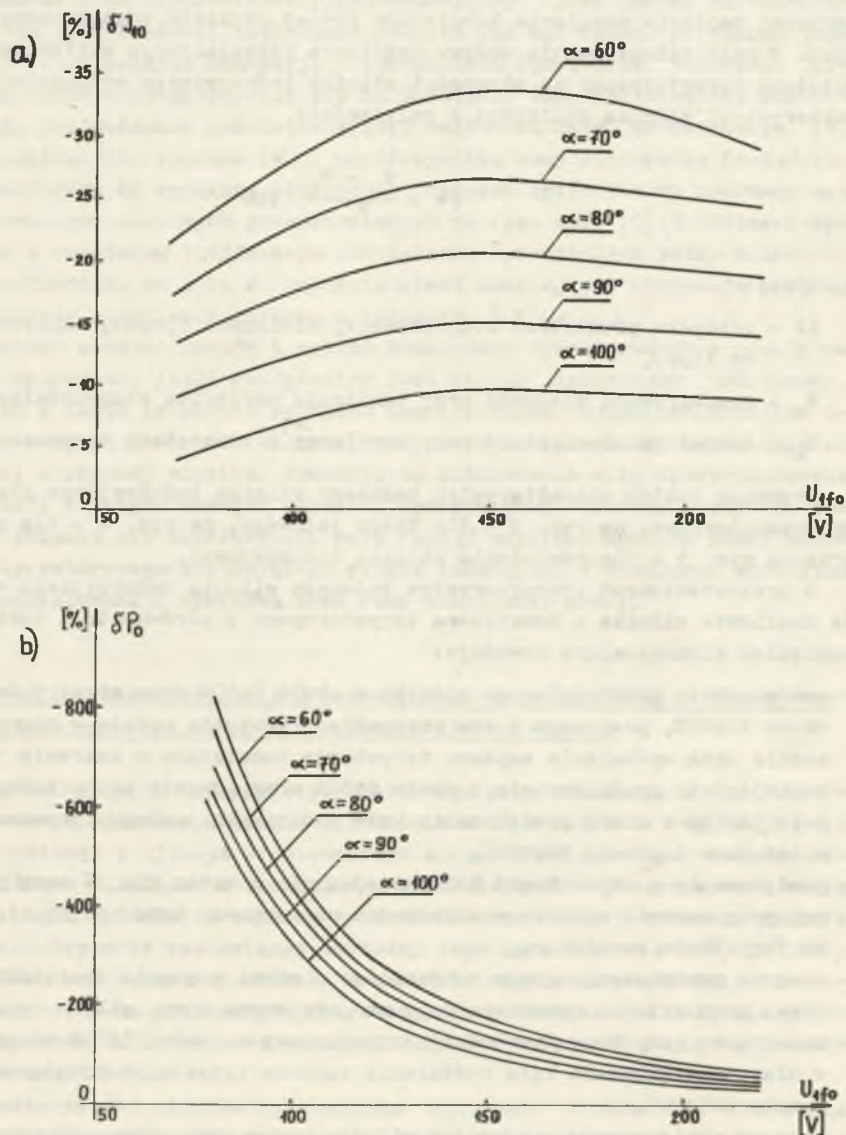
W_s - rozpatrywana wielkość przy zasilaniu napięciem sinusoidalnym,

W_k - rozpatrywana wielkość przy zasilaniu z komutatora tyrystorowego.

Przebieg takich charakterystyk badanego silnika indukcyjnego klatkowe go przedstawiono: na rys. 3 - dla biegu jałowego, na rys. 4 - dla zwarcia oraz na rys. 5 - dla obciążenia silnika indukcyjnego.

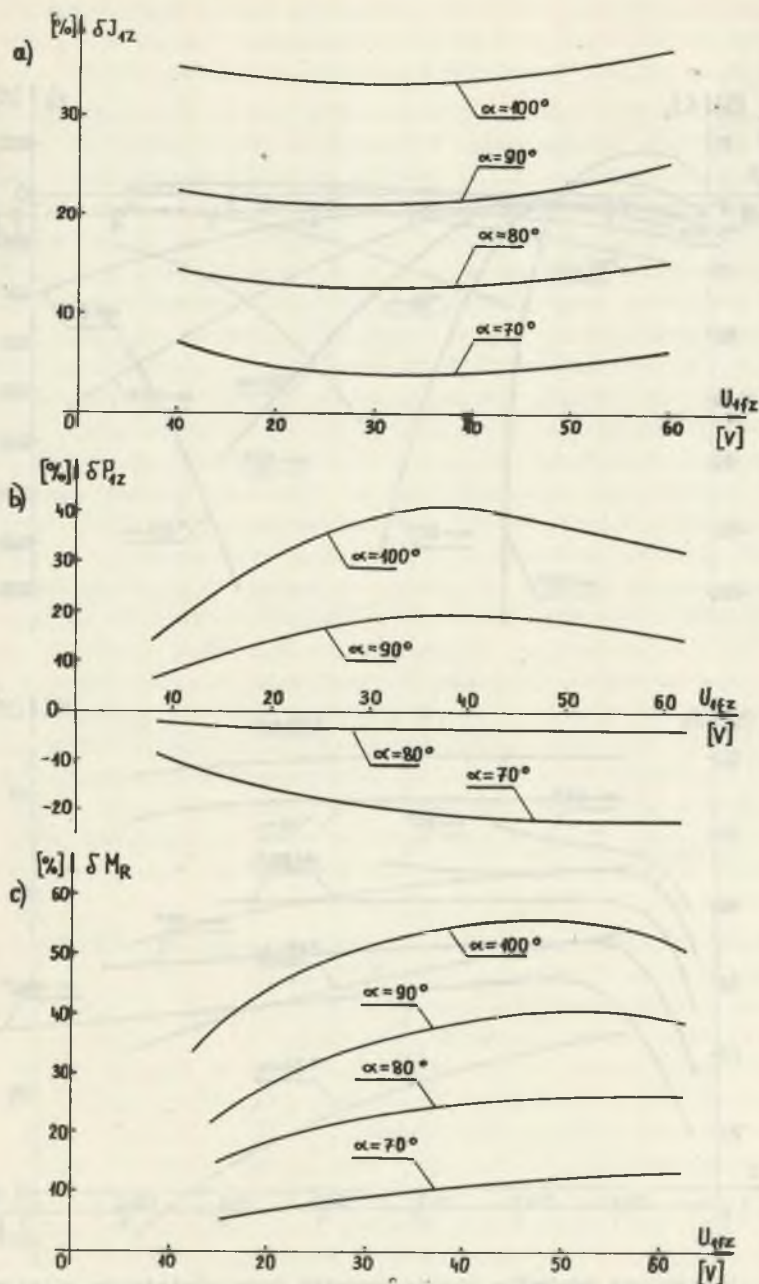
Z przedstawionych charakterystyk badanego silnika indukcyjnego wynika, że zasilanie silnika z komutatora tyrystorowego w porównaniu z zasilaniem napięciem sinusoidalnym powoduje:

- powiększenie prądu jałowego silnika o około $7 \pm 30\%$ oraz strat jałowych o około $40 \pm 80\%$, przy czym w obu przypadkach odchyłka rośnie w miarę zmniejszania kąta opóźnienia zapłonu tyrystorów komutatora w zakresie $100-60^\circ$,
- zmniejszenie prądu zwarcia o około $5 \pm 30\%$ oraz momentu rozruchowego o około $13 \pm 55\%$ w miarę powiększania kąta opóźnienia zapłonu tyrystorów komutatora w zakresie $70 \pm 100^\circ$,
- powiększenie o około $20 \pm 2\%$ lub zmniejszenie o około $17 \pm 37\%$ mocy pobieranej przy zwarcu silnika w zależności od wartości kąta opóźnienia zapłonu tyrystorów komutatora,
- znaczne powiększenie prądu pobieranego z sieci w stanie obciążenia silnika; prąd silnika ogranicza jego moc użyteczną i np. silnik osiąga prąd znamionowy przy mocy użytecznej zmniejszonej o około $35 \pm 80\%$ odpowiednio w miarę powiększania kąta opóźnienia zapłonu tyrystorów komutatora w zakresie $60 \pm 100^\circ$,
- znaczne zmniejszenie sprawności silnika, przy czym sprawność maksymalna zmniejsza się o około $30 \pm 50\%$ w miarę powiększania kąta opóźnienia zapłonu tyrystorów komutatora w zakresie $60 \pm 100^\circ$,



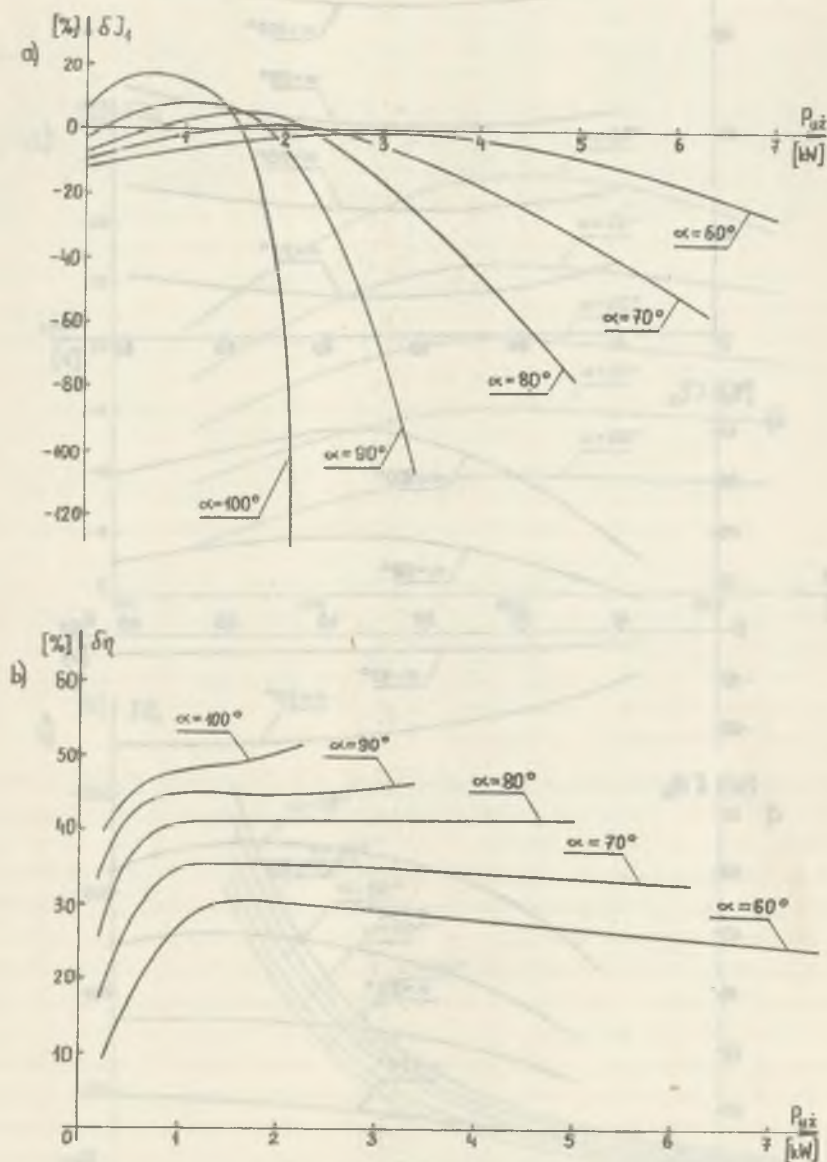
Rys. 3. Procentowa odchyłka charakterystyk biegu jałowego silnika indukcyjnego badanego zasilanego z komutatora tyrystorowego

a) charakterystyki prądu stojana, b) charakterystyki mocy jałowej



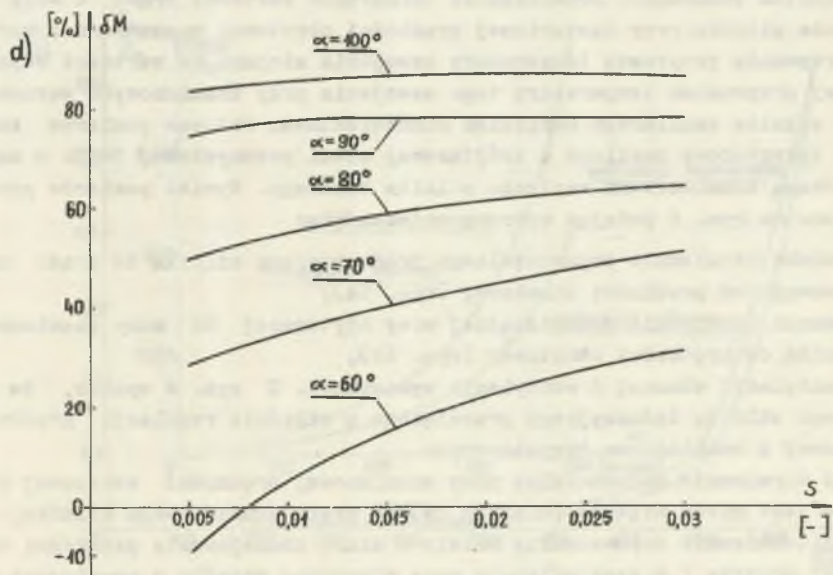
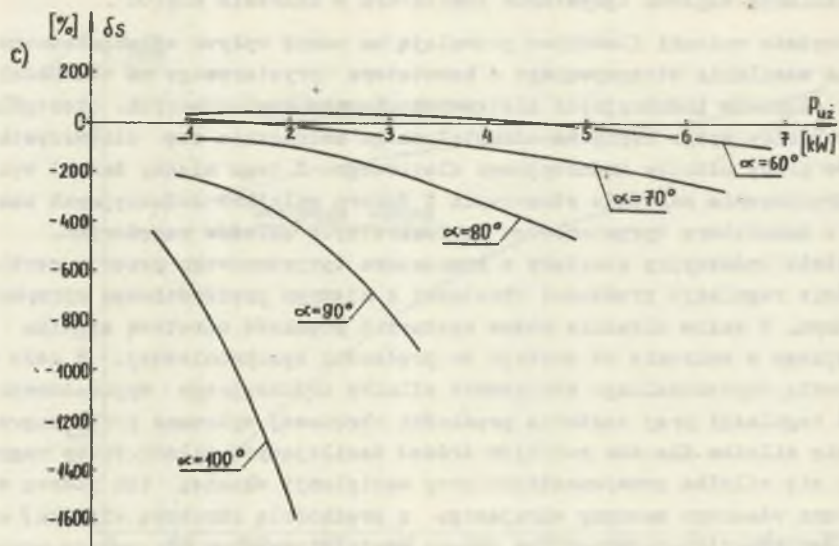
Rys. 4. Procentowa odchyłka charakterystyk zwarcia silnika indukcyjnego badanego zasilanego z komutatora tyrystorowego

a) charakterystyki prądu stojana, b) charakterystyki mocy czynnej pobieranej, c) charakterystyki momentu rozruchowego



Rys. 5. Procentowa odchyłka charakterystyk przy obciążeniu silnika indukcyjnego badanego zasilanego z komutatora tyrystorowego

a) charakterystyki prądu pobieranego z sieci, b) charakterystyki sprawności,



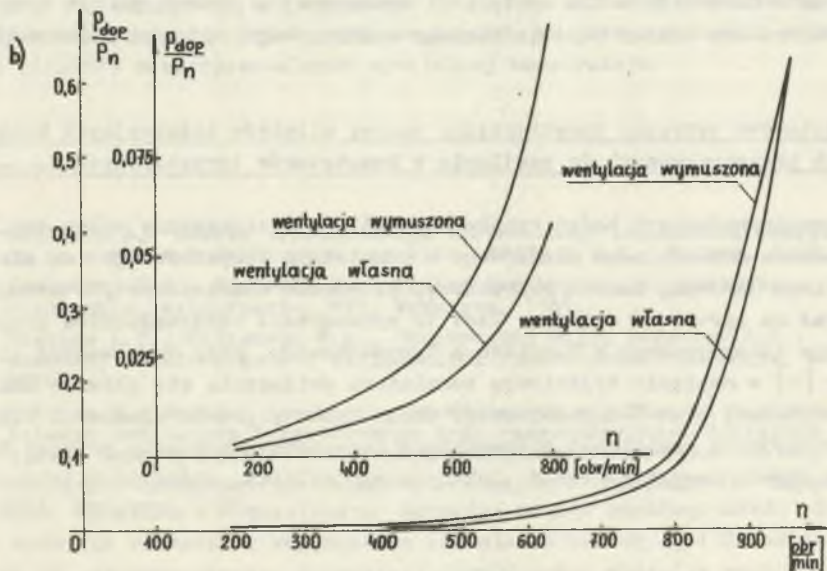
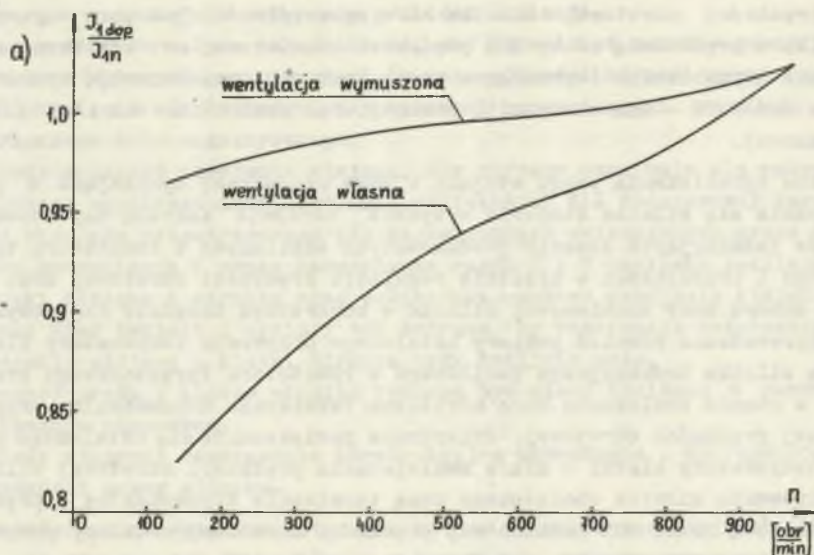
Rys. 5. Procentowa odchyłka charakterystyk przy obciążeniu silnika indukcyjnego badanego zasilanego z komutatora tyrystorowego
c) charakterystyki poślizgu, d) charakterystyki mechaniczne

- znaczne zmniejszenie sztywności stabilnej części charakterystyki mechanicznej silnika oraz jego momentu krytycznego w miarę powiększania kąta opóźnienia zapłonu tyrystorów komutatora w zakresie $60\pm 100^\circ$.

Powyższe wnioski ilościowe pozwalają na ocenę wpływu odkształconego napięcia zasilania otrzymywanego z komutatora tyrystorowego na własności ruchowe silników indukcyjnych klatkowych obecnie produkowanych. Szczególnie niekorzystny wpływ napięcia odkształconego uwidacznia się dla wszystkich stanów pracy silnika indukcyjnego klatkowego. Z tego między innymi wynikają ograniczenia odnośnie stosowania i doboru silników indukcyjnych zasilanych z komutatora tyrystorowego do konkretnych układów napędowych.

Silnik indukcyjny zasilany z komutatora tyrystorowego pracuje zwykle w układzie regulacji prędkości obrotowej z ujemnym prędkościowym sprzężeniem zwrotnym. W takim układzie można nastawiać prędkość obrotową silnika indukcyjnego w zakresie od postoju do prędkości synchronicznej. W celu wyznaczenia dopuszczalnego obciążenia silnika indukcyjnego wyposażonego w układ regulacji przy nastawie prędkości obrotowej wykonano próby nagrzewania się silnika dla obu rodzajów źródeł zasilających silnik. Próby nagrzewania się silnika przeprowadzono przy wentylacji własnej (za pomocą wentylatora własnego maszyny wirującego z prędkością obrotową wirnika) oraz przy wentylacji wymuszonej (za pomocą wentylatora własnego maszyny napędzanej silnikiem pomocniczym ze stałą prędkością równą prędkości znamionowej silnika badanego). Dopuszczalne termicznie wartości prądu i mocy obciążenia silnika przy nastawianej prędkości obrotowej wyznaczono z warunku utrzymania przyrostu temperatury uzwojenia stojana na wartości odpowiadającej przyrostom temperatury tego uzwojenia przy znamionowych warunkach pracy silnika zasilanego napięciem sinusoidalnym. Podczas pomiarów komutator tyrystorowy zasilano z trójfazowej sieci przemysłowej 50 Hz o napięciu równym znamionowemu napięciu silnika badanego. Wyniki pomiarów przedstawiono na rys. 6 podając wykresy zależności:

- stosunku termicznie dopuszczalnego prądu stojana silnika do prądu znamionowego od prędkości obrotowej (rys. 6a),
 - stosunku termicznie dopuszczalnej mocy użytecznej do mocy znamionowej silnika od prędkości obrotowej (rys. 6b),
- dla wentylacji własnej i wentylacji wymuszonej. Z rys. 6 wynika, że dla badanego silnika indukcyjnego pracującego w układzie regulacji prędkości obrotowej z komutatorem tyrystorowym:
- prąd termicznie dopuszczalny przy znamionowej prędkości obrotowej wirnika jest nieco większy (o około 2%) od prądu znamionowego silnika,
 - prąd termicznie dopuszczalny maleje w miarę zmniejszania prędkości obrotowej wirnika i w szczególności przy wirowaniu wirnika z prędkością równą 10% prędkości znamionowej prąd termicznie dopuszczalny (wyrażony w % prądu znamionowego) wynosi około 80% - dla wentylacji własnej oraz około 95% - dla wentylacji wymuszonej,



Rys. 6. Charakterystyki prądu stojana termicznie dopuszczalnego (a) oraz mocy użytecznej termicznie dopuszczalnej (b) przy zmianach prędkości obrotowej silnika indukcyjnego badanego pracującego w układzie regulacji prędkości obrotowej z komutatorem tyrystorowym

- moc użyteczna termicznie dopuszczalna przy znamionowej prędkości obrotowej wirnika wynosi około 65% mocy znamionowej silnika,
- moc użyteczna termicznie dopuszczalna silnie maleje w miarę zmniejszania prędkości obrotowej wirnika i w szczególności już przy wirowaniu wirnika z prędkością równą 80% prędkości znamionowej moc użyteczna termicznie dopuszczalna (wyrażona w procentach mocy znamionowej) wynosi jedynie około 8% - dla wentylacji własnej oraz około 10% dla wentylacji wymuszonej.

Podane ograniczenia prądu stojana i mocy użytecznej wynikające z prób nagrzewania się silnika stanowią wytyczne odnośnie zakresu zastosowania silników indukcyjnych obecnie produkowanych zasilanych z komutatora tyrystorowego i pracujących w układzie regulacji prędkości obrotowej oraz odnośnie doboru mocy znamionowej silnika w konkretnym układzie napędowym.

Przeprowadzono również pomiary ustalonego przyrostu temperatury klatki wirnika silnika indukcyjnego zasilanego z komutatora tyrystorowego pracującego w stanie obciążenia mocą użyteczną termicznie dopuszczalną przy nastawianej prędkości obrotowej. Stwierdzono powiększanie się ustalonego przyrostu temperatury klatki w miarę zmniejszania prędkości obrotowej silnika. Przy wirowaniu silnika obciążonego mocą termicznie dopuszczalną z prędkością obrotową równą 10% znamionowej prędkości obrotowej ustalony przyrost temperatury klatki wirnika powiększa się o około 15% - dla wentylacji własnej oraz o około 12% - dla wentylacji wymuszonej w porównaniu do przyrostu temperatury klatki odpowiadającego znamionowej prędkości obrotowej.

4. Podstawowe wytyczne konstrukcyjne budowy silników indukcyjnych klatkowych przystosowanych do zasilania z komutatorów tyrystorowych

Z przeprowadzonych badań wynika szczególnie niekorzystny wpływ zasilania silnika indukcyjnego klatkowego z komutatora tyrystorowego na straty przy biegu jałowym, moment rozruchowy, sztywność charakterystyki mechanicznej oraz na sprawność silnika. Jest to spowodowane odkształceniem krzywej napięcia otrzymywanego z komutatora tyrystorowego, przy czym według literatury [4] w napięciu wyjściowym komutatora uwidacznia się głównie udział 5-harmonicznej oraz 7-harmonicznej. Chcąc zatem poprawić własności silnika indukcyjnego zasilanego z komutatora tyrystorowego trzeba przyjąć taką budowę obwodu magnetycznego i elektrycznego silnika, która umożliwia ograniczenie niekorzystnego wpływu wyższych harmonicznych w napięciu zasilania silnika. Z tego powodu ustala się następujące podstawowe wytyczne dotyczące budowy silników indukcyjnych klatkowych przystosowanych do zasilania z komutatora tyrystorowego:

- do budowy obwodu magnetycznego silnika należy stosować cieńsze blachy wykonane z materiału o mniejszej stratności i większej stromości charakterystyki magnesowania,

- blachy magnetyczne powinny być starannie izolowane w celu uniknięcia zwarcia pomiędzy blachami, przy czym, aby nie powiększać wymiarów maszyny, zaleca się stosować izolację tlenkową lub izolację za pomocą lakierów dających najmniejsze przyrosty grubości izolacji,
- liczbę żłobków należy tak dobierać, aby ograniczyć momenty pasożytnicze wywołane wyższymi harmonicznymi (w szczególności harmonicznymi rzędu 5 i 7) napięcia zasilającego oraz wyższymi harmonicznymi rozkładu przestrzennego pola magnetycznego,
- należy dobierać uzwojenie stojana, dla którego otrzymuje się maksymalny stosunek współczynników uzwojenia obliczonych dla podstawowej harmonicznej rozkładu przestrzennego pól magnetycznych wytworzonych przez podstawową harmoniczną i przez harmoniczne rzędu 5 i 7 napięcia zasilającego,
- żłobki stojana i wirnika oraz połączenia czołowe uzwojenia stojana powinny mieć kształt i wymiary tak dobrane, by reaktancje rozproszenia uzwojenia stojana i klatki wirnika były możliwie małe,
- gęstość prądu w klatce wirnika powinna być nieco obniżona w porównaniu z obecnie stosowaną,
- należy stosować rozwiązania konstrukcyjne prowadzące do zmniejszenia głośności pracy silnika.

Przedstawione wytyczne dotyczące budowy silników indukcyjnych klatkowych przystosowanych do zasilania z komutatora tyrystorowego mają charakter zbyt ogólny i mogą być wyzyskane do budowy silników eksperymentalnych. Uściślenie wytycznych będzie możliwe dopiero po przeprowadzeniu prób szeregu silników eksperymentalnych specjalnej konstrukcji.

LITERATURA

- [1] Koelitin L.: Rabota triechfaznogo tiristorного regulatora napriazhenija na aktiwno-induktiwnuju nagruzku. Trudy M.E.I., Moskwa, 1966.
- [2] Kozłowski H.S., Turowski E.: Silniki indukcyjne, projektowanie, konstruowanie, wytwarzanie. WNT, Warszawa, 1961.
- [3] Pietrow Ł.P., Ładienson W.A., Obuchowski M.P., Podzołow R.G.: Asinchronnyj elektropriwod s tiristornymi komutatorami. Energia, Moskwa, 1970.
- [4] Potapow W.: Analiza zawartości harmonicznych w 3-fazowym napięciu wyjściowym komutatora tyrystorowego przy rezystancyjno-indukcyjnym obciążeniu. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej "Elektryka" Nr 38, 1973.
- [5] Tunia H., Winiarski B.: Układy elektroniczne w automatyce napędowej. WNT, Warszawa, 1968.

Przyjęto do druku w czerwcu 1974 r.

СВОЙСТВА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ, ПИТАЕМОГО
ОТ ТИРИСТОРНОГО КОММУТАТОРА

Р е з ю м е

Изложены результаты исследований свойств асинхронного короткозамкнутого двигателя при питании трехфазным несинусоидальным напряжением от тиристорного коммутатора. Свойства двигателя, питаемого от тиристорного коммутатора, сравнены со свойствами двигателя, питаемого синусоидальным напряжением от трехфазной сети.

Даны практические рекомендации по вопросам конструирования асинхронных двигателей, приспособленных для питания от тиристорного коммутатора.

PROPERTIES OF THE INDUCTION MOTOR SUPPLIED
THROUGH THYRISTOR COMMUTATOR

S u m m a r y

Investigation results of the induction squirrelcage motor supplied through symmetrically triggered SCR from three-phase AC supply are presented and compared with properties of a motor supplied from a sinusoidal three phase symmetrical voltage source. Practical outlines are given for the designing of induction motors adapted to be supplied from a thyristor commutator.