

# **MASZYNY ELEKTRYCZNE**

## **część 6**

### **MASZYNY KOMUTATOROWE**

## Silniki komutatorowe jednofazowe

Maszyny komutatorowe prądu przemiennego charakteryzują się szczególnymi właściwościami ruchowymi. Są powszechnie stosowane jako silniki jednofazowe i trójfazowe w układach napędowych wymagających ciągłej regulacji prędkości obrotowej, najczęściej do napędu sprzętu gospodarstwa domowego i elektronarzędzi.

Umożliwiają dogodną regulację współczynnika mocy. Wymagania te spełniają obecnie stosowane, tańsze i mniej uciążliwe w użytkowaniu, maszyny prądu stałego i przemiennego, zasilane z układów przekształtnikowych.

Silniki komutatorowe jednofazowe małej mocy zasilane prądem przemiennym o częstotliwości sieciowej są podobne konstrukcyjnie do maszyn komutatorowych prądu stałego o wzbudzeniu elektromagnetycznym. Rdzeń stojana i wirnika, wykonany jest z blach, w celu zmniejszenia strat w żelazie wywołanych prądami wirowymi.

Małe silniki komutatorowe jednofazowe są maszynami dwubiegunowymi o dwóch uzwojeniach:

- a) uzwojenia wzbudzającego, wykonanego z dwóch cewek umieszczonych na biegunach stojana oraz
- b) uzwojeń twornika, umieszczonych w żłobkach wirnika, przyłączonych do działek (wycinków) komutatora.

Oba uzwojenia, podobnie jak w maszynach prądu stałego, mogą być łączone szeregowo lub równolegle.

Ze względu na sposób łączenia uzwojeń silniki komutatorowe jednofazowe prądu przemiennego dzielą się, na:

- a) silniki szeregowo,
- b) silniki bocznikowe
- c) repulsyjne.

Silniki komutatorowe trójfazowe szeregowo stosowane są bardzo rzadko.

**Silniki komutatorowe jednofazowe szeregowo** działają na tej samej zasadzie, jak silniki szeregowo prądu stałego, z tą różnicą, że ich obwód magnetyczny jest wykonany w całości z blachy prądnicowej. Jest to konieczne ze względu na zasilanie tych silników prądem przemiennym .

Przy zmianie kierunku prądu w silniku szeregowym zmienia się jednocześnie kierunek prądu w tworniku i kierunek strumienia wytworzonego przez uzwojenie szeregowo. Kierunek momentu pozostaje niezmienny, ponieważ moment jest proporcjonalny do iloczynu prądu twornika i strumienia.

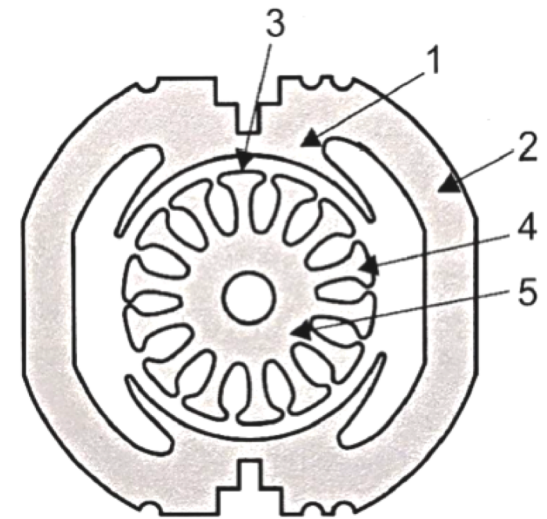
Prędkość obrotową silnika szeregowego jednofazowego małej mocy można regulować przez:

- włączenie szeregowo rezystancji,
- zmianę liczby zwojów uzwojenia wzbudzającego.

Ze względu na małą indukcyjność obwodu twornika tych silników współczynnik mocy  $\cos\varphi$  jest bliski jedności.

Jednofazowe silniki komutatorowe szeregowo są produkowane masowo o mocy od kilku watów do 1,1 kW, wykorzystywane do napędu różnych drobnych urządzeń, jak np. zabawek, sprzętu gospodarstwa domowego, narzędzi ręcznych i urządzeń laboratoryjnych. Silniki te zbudowane są podobnie jak silniki prądu stałego. Silniki mogą również pracować przy zasilaniu prądem stałym.

W tym przypadku rozwijany moment obrotowy jest większy od średniego momentu powstającego przy zasilaniu prądem przemiennym. Jednofazowe silniki szeregowo dużej mocy znalazły zastosowanie w trakcji elektrycznej, przy zasilaniu z sieci o zmniejszonej częstotliwości. W Polsce nie są stosowane, gdyż trakcja jest zasilana prądem stałym.



Obwód magnetyczny jednofazowego silnika komutatorowego szeregowego:

1 – bieguny główne, 2 – jarzmo stojana, 3 – szczelina powietrzna, 4 – zęby, 5 – jarzmo wirnika

## Silniki komutatorowe szeregowo trójfazowe

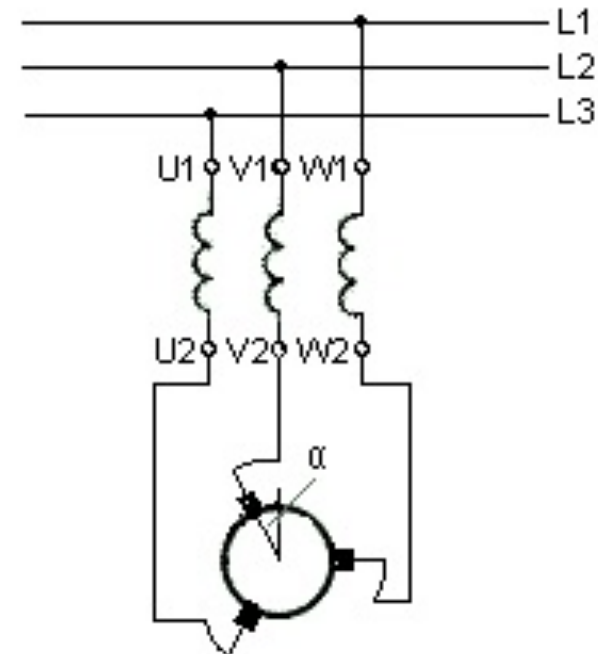
Budowa stojana silnika jest taka sama jak w maszynie indukcyjnej trójfazowej z tym, że początki uzwojeń fazowych są przyłączone do sieci, a końce do szczotek – na komutatorze. Wirnik natomiast zbudowany jest jak w maszynie prądu stałego. Na komutatorze są ustawione zespoły szczotek, odpowiednio dla każdej pary biegunów. Zespolony wspólny układ szczotek może być przesuwany po obwodzie komutatora.

Jeżeli osie uzwojeń stojana i wirnika tworzą kąt  $\alpha$ , to powstaje moment obrotowy wyrażony wzorem:

$$M = c \Phi_1 \Phi_2 \sin \alpha$$

gdzie:

$\Phi_1, \Phi_2$  – strumienie magnetyczne stojana i wirnika, w Wb.



W stanie pracy ( $0 < \alpha < 180^\circ$ ), regulując kąt  $\alpha$ , można dostosować moment obrotowy silnika przy wymaganej prędkości do określonego obciążenia. W skrajnym położeniu szczotek, gdy kąt  $\alpha = 0$  – występuje bieg jałowy, natomiast przy kącie  $\alpha = 180^\circ$  – stan zwarcia. W obu pozycjach moment obrotowy jest równy zero. Wadą tych silników jest mało stabilna praca przy niewielkich przesunięciach kąta  $\alpha$  i znacznych zmianach momentu elektromagnetycznego, co może doprowadzić nawet do zahamowania silnika.

Przy małych obciążeniach silnik ma tendencję do rozbiegania się. Aby temu zapobiec obniża się napięcie zasilania silnika lub stosuje transformator oddzielający elektrycznie uzwojenie stojana od wirnika.

Kierunek wirowania silnika zmienia się przez zmianę dowolnych dwóch przewodów zasilających oraz przesunięcie szczotek w przeciwnym kierunku. Rozruch polega na bezpośrednim włączeniu do sieci przy biegu jałowym.

Silniki trójfazowe szeregowo były wykorzystywane w układach napędowych o wymaganym dużym momencie rozruchowym początkowym. Stosowano je także w napędach wentylatorów, sprężarek, pomp.

**Silnik komutatorowy jednofazowy bocznikowy** ma taką samą budowę jak silnik szeregowy, z tą różnicą, że uzwojenie wzbudzające posiada dużą liczbę zwojów z drutu nawojowego o znacznie mniejszym przekroju.

Obwód elektryczny tworzą dwie gałęzie;

- wirnik o bardzo małej reaktancji oraz
- uzwojenie wzbudzające o dużej reaktancji.

Prąd twornika, będący w przybliżeniu w fazie z napięciem zasilania, jest przesunięty względem strumienia wzbudzenia, będącego w fazie z prądem wzbudzenia, o kąt  $\alpha$  bliski wartości  $\pi/2$ .

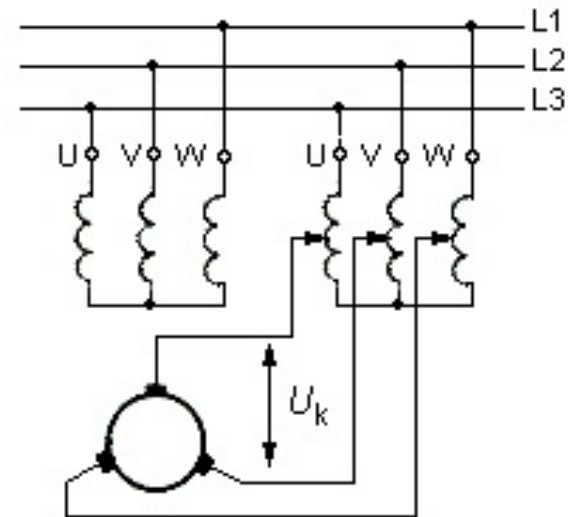
Moment elektromagnetyczny jest zatem równy:

$$M = c_E \Phi I \cos\alpha = 0$$

W silnikach jednofazowych bocznikowych wymagana jest kompensacja indukcyjności uzwojenia wzbudzającego, przez włączenie w obwód wzbudzenia odpowiednio dobraną pojemność  $C$ . Innym rozwiązaniem jest zasilanie uzwojenia wzbudzającego i uzwojenia twornika napięciami przesuniętymi w fazie o kąt  $\pi/2$ . Jest to jedna z niekorzystnych właściwości jednofazowych silników komutatorowych bocznikowych.

## Silnik komutatorowy trójfazowy bocznikowy

Stojan silnika trójfazowego bocznikowego jest wykonany jak w silniku indukcyjnym trójfazowym, natomiast wirnik – podobnie jak w maszynie prądu stałego. Znajdujący się na komutatorze układ szczotek jest połączony z suwakiem transformatora regulacyjnego



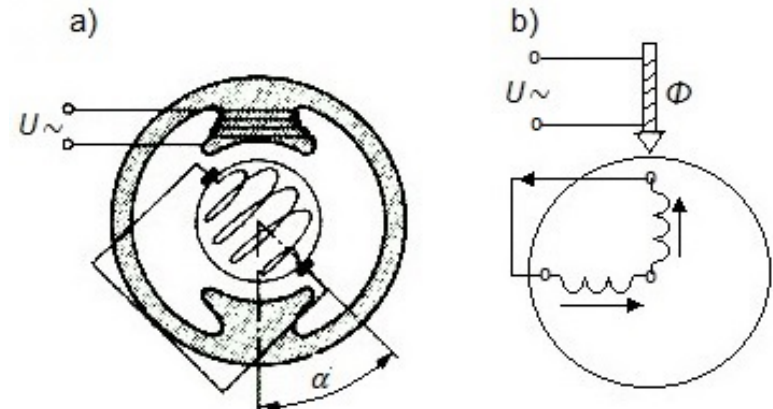
Regulację prędkości obrotowej uzyskuje się przez zmianę napięcia  $U_k$ , zasilającego układ szczotek.

Rozruch następuje przez bezpośrednie włączenie silnika do sieci w położeniu najmniejszej prędkości obrotowej. Sprawność silnika jest mniejsza niż silnika indukcyjnego o wirniku pierścieniowym.

## Silniki komutatorowe jednofazowe repulsyjne

Silnik repulsyjny jest to jednofazowy silnik komutatorowy, w którym uzwojenie stojana zasilane jest z sieci prądu przemiennego, a uzwojenie wirnika połączone z komutatorem i zwarte za pośrednictwem szczotek. Stojan i wirnik silnika repulsyjnego mają niezależne obwody elektryczne, a przenoszenie energii elektrycznej ze stojana do wirnika odbywa się drogą indukcji elektromagnetycznej. Silnik repulsyjny budową przypomina silnik komutatorowy jednofazowy o wzbudzeniu bocznikowym.

Położenie szczotek na obwodzie komutatora określa się kątem  $\alpha$ . Jest to kąt ustawienia szczotek względem obojętnej osi magnetycznej stojana. Rozruch i regulacja prędkości obrotowej silnika zależy od położenia szczotek. Przez zmianę kąta  $\alpha$  położenia szczotek możemy również uzyskiwać zmianę kierunku wirowania silnika



Oznaczenia:

- a) schemat obwodu elektromagnetycznego,
- b) zasada działania

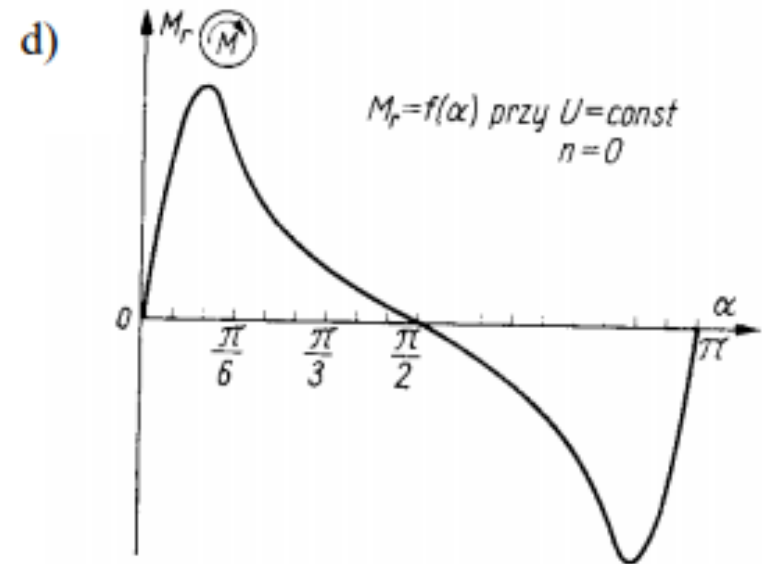
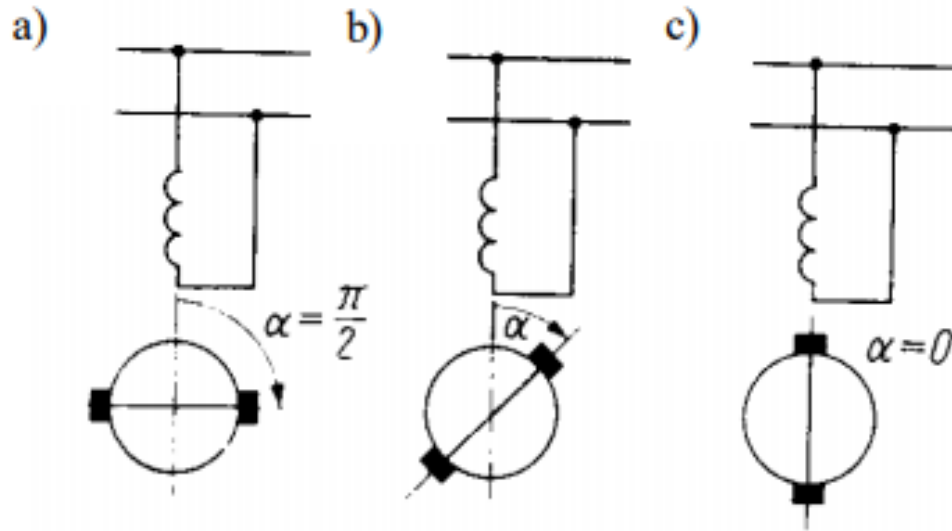
## **Odmiany silników repulsyjnych:**

- a) Silnik Thomsona o pojedynczym układzie szczotek;
- b) Silnik Deriego. Ma dwa układy szczotek – jeden na jarzmie ruchomym, drugi – na jarzmie nieruchomym. Regulacja prędkości obrotowej jest bardzo płynna, a komutacja lepsza niż w silniku repulsyjnym zwykłym;
- c) Silniki repulsyjno – indukcyjne. Mają w wirniku dodatkowo klatkę (jak w silniku indukcyjnym klatkowym). Rozruch następuje przez bezpośrednie włączenie silnika do sieci zasilającej. Wybór kierunku wirowania uzyskuje się odpowiednio przesuwając szczotki, które są następnie mocowane na stałe.

## **Właściwości ruchowe silników repulsyjnych:**

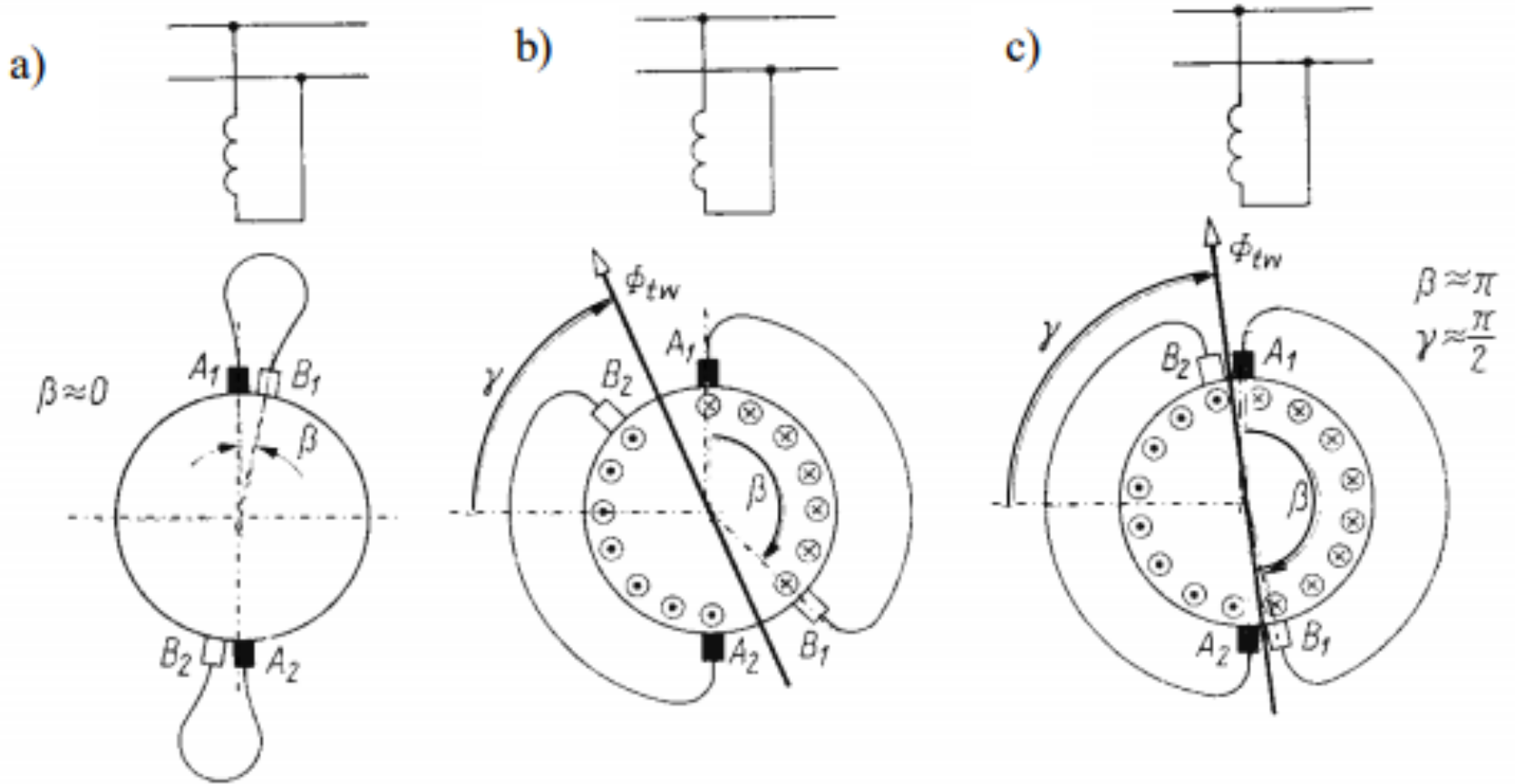
- a) duży moment rozruchowy:  $M_r = (3,5 \div 5) M_N$ ,
- b) niewielki prąd rozruchowy:  $I_r = 3,5 I_N$ ,
- c) płynna regulacja prędkości obrotowej w dużych granicach,
- d) duże zmiany prędkości obrotowej przy zmianie obciążenia.

Silniki te stosuje się tam, gdzie rozruch odbywa się pod obciążeniem i to przy znacznie obniżonym napięciu, np. do pomp sterowanych automatycznie.



Silniki repulsyjny typu Thomsona

- a) Stan jałowy
- b) Stan pracy
- c) Stan zwarcia
- d) Ch-ka początkowego momentu rozruchowego



### Silniki repulsyjny typu Deriego

- a) Stan jałowy
- b) Stan pracy
- c) Stan zwarcia

## Uszkodzenia jednofazowych silników komutatorowych prądu zmiennego

### Silnik nie pracuje

przyczyny	wykrywanie / postępowanie
<ul style="list-style-type: none"> <li>• przerwa w uzwojeniu lub w obwodzie stojana</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• sprawdzić obwód induktorem, usunąć przerwę lub przezwoić stojan</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• zakleszczenie się szczotki w obsadzie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• sprawdzić luz szczotek w obsadach, oczyścić obsady lub wymienić szczotki</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• przerwa w uzwojeniu wirnika</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• sprawdzić uzwojenie, przezwoić lub wymienić wirnik</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• przerwa w obwodzie kondensatora przeciwzakłócenieniowego</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• usunąć przerwę lub wymienić kondensator</li> </ul>

### Utrudniony rozruch, zbyt duży prąd (wirnik „klei się” do stojana)

przyczyny	wykrywanie / postępowanie
<ul style="list-style-type: none"> <li>• przebicie do masy w uzwojeniu wirnika</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• sprawdzić, czy uzwojenie nie ma przebicia do masy, przezwoić</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• zwarcie zwojowe w uzwojeniu wirnika</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• przeprowadzić oględziny wirnika, przezwoić</li> </ul>

### Nadmierny pobór prądu

przyczyny	wykrywanie / postępowanie
<ul style="list-style-type: none"> <li>• przebicie izolacji do masy (silnik uziemiony)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• sprawdzić, czy uzwojenie nie ma przebicia do masy, przezwoić wirnik lub stojan</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• zwarcie kondensatora przeciwzakłóceniewego</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• wymienić kondensator</li> </ul>

[według: Jan Zembrzuski, *Uszkodzenia i naprawa silników elektrycznych*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, wyd. 2 uaktualnione, Warszawa 1999]

### Zbyt duże prędkość obrotowa i prąd

przyczyny	wykrywanie / postępowanie
<ul style="list-style-type: none"> <li>• zwarcie międzyzwojowe w uzwojeniu stojana</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• sprawdzić rezystancję uzwojenia, przezwoić stojan</li> </ul>

## Nadmierne iskrzenie szczotek

przyczyny	wykrywanie / postępowanie
<ul style="list-style-type: none"> <li>• zwarcie między wycinkami komutatora</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• zmierzyć rezystancję między wycinkami, przezwoić lub wymienić wirnik</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• nadmierne zużycie komutatora</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• przetoczyć komutator lub wymienić wirnik</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• wystający mikanit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• powycinać mikanit i przeszlifować komutator</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• wystające wycinki komutatora</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• przetoczyć komutator lub wymienić wirnik</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• nadmierne zużycie szczotek</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• wymienić szczotki</li> </ul>

## Nierównomierna praca połączona z silnym iskrzeniem

przyczyny	wykrywanie / postępowanie
<ul style="list-style-type: none"><li>• uszkodzenie sprężyn dociskających szczotki</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• wymienić sprężyny lub szczotki ze sprężynami</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• zakleszczanie się szczotek w obsadach</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• oczyścić obsady lub wymienić zużyte szczotki</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• zabrudzenie lub uszkodzenie łożysk</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• zdemontować silnik, przemyć i nasmarować lub wymienić łożyska</li></ul>

# Dziękuję za uwagę



mgr inż. Robert Czak

*tel: 0048 603687444*

*mail: robert.czak@op.pl*