ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1982

Seria: ELEKTRYKA z. 82 Nr kol. 723

Adam RÓŻYCKI

Instytut Maszyn i Urządzeń
Elektrycznych
Politechniki Śląskiej

ZBIERACZE PRĄDOWE W MASZYNACH UNIPOLARNYCH Z NADPRZEWODNIKOWYM UZWOJENIEM WZBUDZENIA

Streszczenie. Przedstawiony został aktualny stan budowy zbieraczy prądowych stosowanych w nadprzewodnikowych maszynach unipolarnych. Podano podstawowe własności zestyków szczotkowych i klasyfikację cieczy stosowanych w zbieraczach prądowych z ciekłego metalu.

1. TYPY ZBIERACZY PRĄDOWYCH STOSOWANYCH W MASZYNACH UNIPOLARNYCH Z NADPRZEWODNIKOWYM UZWOJENIEM WZBUDZENIA

Zarówno w aktualnie zbudowanych doświadczalnych maszynach, jak i w przyszłościowych projektach o znacznie większych mocach, uwidaczniają się dwa różne sposoby przenoszenia prądu obciążenia między elementami wirującymi a nieruchomymi. W maszynach o nieruchomym nadprzewodnikowym uzwojeniu wzbudzenia i wirującym tworniku - przyjętych jako podstawowe rozwiązanie konstrukcyjne - stosuje się albo zbieracze prądowe typu szczotkowego, albo zestyki z ciekłego metalu.

Wybór alternatywy uwarunkowany jest napięciem roboczym twornika. W maszynach unipolarnych, w których zastosowano specjalne środki konstrukcyjne, umożliwiające podwyższenie napięcia (np. twornik segmentowany wg patentu A.D. Appletona) najbardziej odpowiednie mogą się okazać zestyki ślizgowe, tj. szczotki o niekonwencjonalnej budowie, gdyż stosowanie zestyków ciekłych może być utrudnione lub wręcz niemożliwe.

W maszynach o stosunkowo niskich napięciach i wysokich prądach obciążenia, zestyki szczotkowe wprowadziłyby znaczne spadki napięcia oraz duże straty tarcia. Z tych powodów dla maszyn wielotarczowych lub wielobębnowych należy stosować zbieracze prądowe z ciekłego metalu, dopuszczające znaczne podwyższenie gęstości prądowej w strefie styku.

W tabeli I, III zestawiono maszyny unipolarne z nadprzewodnikowym uzwojeniem wzbudzenia, w których zastosowano zbieracze prądowe szczotkowe (tabela I) i zbieracze z ciekłego metalu (tabela III) [11].

1.1. Zbieracze prądowe typu szczotkowego

Do najczęściej stosowanych należą szczotki konwencjonalne miedziowo-grafitowe MORGANITE CM 1S, posiadające wysoką procentową zawartość miedzi

oraz szczotki CM 2 względnie MTCO, MT 4 [9]. Badania prowadzone w IRD (Anglia) od przeszło 20 lat i kontynuowane obecnie, doprowadziły do wynalezienia szczotek z włókien węglowych o średnicy $<10\ \mu m$ platerowanych cienką powłoką metalu (np. srebrem) pozwalających na znaczne powiększenie gęstości prądowej i prędkości obrotowej, blisko 3-krotne, w porównaniu do szczotek budowy konwencjonalnej. Cienka warstwa metaliczna zwiększa elektryczną i cieplną przewodność wzdłuż włókien i przeszkadza powstawaniu warstwowych tlenków na powierzchniach stykowych pierścienia ślizgowego, oczyszczając je w sposób mechaniczny. Wysoka dopuszczalna gęstość prądowa uwarunkowana jest dużą powierzchnią styku osiągniętą przez punktowy styk znacznej liczby pojedynczych włókien (rys. 1 i 2).

Rys. 1. Włókno węglowe platerowane metalem

Rys. 2. Szczotka z włókien węglowych platerowanych metalem

Tabela I

Maszyny unipolarne z nadprzewodnikowym uzwojeniem wzbudzającym, w których zastosowano zbieracze prądowe typu "szczotkowego"

Lp.	Kraj	Parametry maszyny P [kW]	U [V]	I [A]	n obr/min	η	Wytwórca	Budowa twornika	Typ szczotek i pierścieni ślizgowych	Zastosowanie	Rok budowy
1	Anglia	39,5	10,74	3800	1900	0,69	I R D	dwutarczowy	miedziowo-grafitowe MORGANITE CM 15 stop miedzi z 1% chromu	silnik	1966
2		2420	450	5800	200	-	I R D	dwutarczowy segmentowany	miedziowo-grafitowe CM 15 stop miedzi z niklem	silnik PAWLET	1970
3		1000	500	2000	1500	-	I R D	tarczowy segmentowany	szczotki z włókien węglowych platerowanych metalem MK 11	zespół napędowy statku	1974
4	Japonia	3000	150	20000	1000	-	TOSHIBA	dwutarczowy	szczotki węglowe	generator	1972
5	Włochy	94,8	15,8	6000	2000	0,81	ANSALDO	dwutarczowy	miedziowo-grafitowe MORGANITE CM 15	-	1973
6	ZSRR	34,8	196	280	1500	0,76	FTINT	tarczowy segmentowany	-	prądnica silnik	1976
7		119,5	269	535	1420	0,83	FTINT	bębnowy	-	silnik prądnica	1976
8		5	5	1000	3000	-	MAI	tarczowy	szczotki górne MTCO, szczotki dolne MT 4	-	1979
9		4,8	30	160	3000	-	MAI	tarczowy	szczotki górne MTCO, szczotki dolne MT 4	-	1979
10	USA	30000	300	100	180	0,98	NSRDC	bębnowy (6 biegunowa)	szczotka monolitowa z miedzi smarowana NaK	napęd statku	projekt
11		30000	300	100	180	0,985	NSRDC	bębnowy (4 biegunowa)	szczotka monolitowa z miedzi smarowana NaK	napęd statku	projekt

IRD - ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT, INTERNATIONAL RESEARCH AND DEVELOPMENT Co, Ltd, NEWCASTLE UPON TYNE (Anglia)
TOSHIBA - TOKYO SHIBAURA ELECTRIC (Japonia)
ANSALDO - Włochy
FTINT - FIZYKO TECHNICZNY INSTYTUT NISKICH TEMPERATUR A.N. USRR, CHARKÓW (ZSRR)
MAI - MOSKOWSKIJ AVIACJONNYJ INSTYTUT, Moskwa (ZSRR)
NSRDC - NAVAL SHIP RESEARCH AND DEVELOPMENT CENTER, ANNAPOLIS (USA)

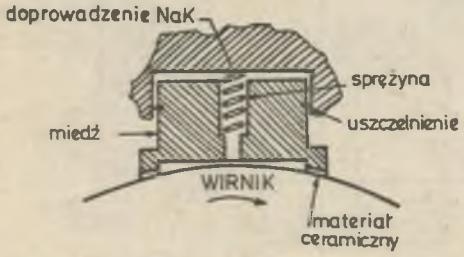
Podstawowe parametry porównawcze obu typów szczotek podane są w tabeli II [2].

Tabela II

Podstawowe parametry porównawcze dwóch typów szczotek

Podstawowe dane	Szczotki miedziowo-grafitowe	Szczotki z włókien węglowych platerowanych metalem
gęstość prądowa	30 $\frac{A}{cm^2}$	100 $\frac{A}{cm^2}$
prędkość obwodowa pierścienia ślizgowego (max)	40 $\frac{m}{s}$	100 $\frac{m}{s}$
spadek napięcia		
na katodzie (+)	0,15 V	0,35 V
na anodzie (-)	0,14 V	0,15 V
stopień zużycia po 100 godz. pracy		
na katodzie (+)	3 mm	10 mm
na anodzie (-)	3 mm	1 mm
współczynnik tarcia	0,15	0,4 ÷ 0,5

Od kilku lat prowadzi się prace nad możliwością zastosowania czysto metalicznego styku ze smarowaniem. Wprowadzenie w strefę styku błonki o wysokiej przewodności elektrycznej przy równoczesnym obniżeniu współczynnika tarcia zmniejsza straty elektryczne i mechaniczne i podnosi żywotność układu szczotkowego. Były badane stopy metali o różnym składzie chemicznym współpracujące z różnego typu smarami. Zbieracze "hybrydowe", w których utrzymywana jest błonka (film) cieczy, np. ciekłego metalu NaK pomiędzy zewnętrzną powierzchnią pierścienia wirującego a szczotką, np. miedzianą, przewidywane są w projektowanych aktualnie silnikach unipolarnych z nadprzewodnikowymi uzwojeniami wzbudzenia o największych mocach 30 MW w NSRDC (USA) [12] (rys.3). Konstruktorzy francuscy stosując ciekły metal rtęć-ind wykazali, że



Rys. 3. Zbieracz prądowy "hybrydowy" w postaci szczotki miedzianej smarowanej ciekłym metalem (NaK)

tego typu zbieracze mogą być eksploatowane przy niskich prędkościach pierścieni ślizgowych z małym wydatkiem cieczy smarującej. Pozytywne wyniki uzyskano również w IRD przy wyższych prędkościach obwodowych z wykorzystaniem rtęci jako medium przewodzącego prąd.

Charakterystyczne parametry i analizę porównawczą różnych wariantów zestyku ślizgowego dla silnika walcowniczego, unipolarnego z nadprzewodnikowym uzwojeniem wzbudzenia przeprowadzono w pracy [5]. Najmniejsze straty mechaniczne i elektryczne posiadają szczotki monolitowe oraz szczotki z włókien węglowych platerowanych metalem, współpracujących z pierścieniami wykonanymi z brązu wieloskładnikowego. Szczotki te charakteryzują się również wysoką gęstością prądową wynoszącą 150 $\frac{A}{cm^2}$. Przy wyborze szczotek dla maszyn unipolarnych z nadprzewodnikowym uzwojeniem wzbudzenia należy mieć na uwadze obecność silnego pola magnetycznego w strefie styku dochodzącego do 2 T, które może spowodować podwyższenie gęstości prądu w poszczególnych elementach przekroju szczotki i spowodować wysokoczęstotliwościowe drgania aperiodyczne. Oprócz tego, współdziałanie prądu roboczego z zewnętrznym polem magnetycznym wywołuje siły przyciągające szczotkę do jednej z bocznych ścian trzymacza szczotkowego.

Najbardziej narażone na działanie pola magnetycznego są szczotki elektrografitowe konwencjonalnej konstrukcji. Eksperymenty wykazały, że wszystkie tradycyjne marki szczotek ulegają przyspieszonemu zużyciu w polu magnetycznym. Szczotki włókniste i monolitowe smarowane są mniej wrażliwe na działanie zewnętrznych pól magnetycznych.

1.2. Zbieracze prądowe z ciekłego metalu

W kilku krajach (tabela III) prowadzi się prace badawcze nad zastosowaniem ciekłych metali jako medium przenoszącego prąd w nadprzewodnikowych maszynach unipolarnych.

Główną zaletą zbieraczy tego typu jest wysoka dopuszczalna gęstość prądowa w styku przekraczająca 500 $\frac{A}{cm^2}$, co pozwala na przewodzenie prądu rzędu 100 kA i więcej, przy stosunkowo wysokiej sprawności maszyny.

Do wad zbieraczy prądowych z ciekłego metalu zaliczyć można toksyczność (w przypadku rtęci), utratę własności fizykochemicznych pod wpływem powietrza, wilgoci, występowanie przerw łukowych przy przeciążeniach, reaktywność ciekłego metalu z elementami konstrukcyjnymi i izolacją itp.

Najczęściej stosowanym metalem w zbieraczach prądowych jest stop eutektyczny sodu z potasem $NaK_{78\%}$, charakteryzujący się niską temperaturą topnienia, małą gęstością, dobrą zwilżalnością. Mogą być także stosowane metale ciekłe, jak: gal, ind, stopy galu z indem, rtęć oraz amalgamaty rtęci.

Z analizy rozwiązań konstrukcyjnych maszyn zestawionych w tabeli III wynikają co najmniej dwa rozmaite typy zbieraczy, a mianowicie zbieracze całkowicie "zatopione" i "korytkowe" z wirującymi lub nieruchomymi korytkami. Dzięki pośrednictwu ciekłego metalu uzyskuje się w zbieraczach "zatopio-

Tabela III

Maszyny unipolarne z nadprzewodnikowym uzwojeniem wzbudzającym, w których zastosowano zbieracze prądowe z ciekłego metalu

Lp.	Kraj	Parametry maszyny P [kW]	U [V]	I [kA]	n [obr./min]	?	Wytwórca	Budowa twornika	Typ zbieracza prądowego	Zastosowanie	Rok budowy
1	Francja	60	4,3	15	600	0,82	LCIE-LGEP	pięciotarczowy z tarczami ukośnymi	ciekły metal Hg-In lub stop NaK zbieracz całkowicie "zatopiony"	silnik - generator	1966
2	USA	20	2	10	4000	-	GECRD	jedno-tarczowy	ciekły metal, zbieracz całkowicie "zatopiony"	generator	1972
3		150	10	15	3600	-	GECRD	cztero-tarczowy	stop NaK, zbieracz całkowicie "zatopiony"	generator	1972
4		300	30	10	2400	-	NSRDC	ośmio-bębnowy	stop NaK	silnik - generator do napędu statku	1975
5		735	-	-	-	-	NSRDC	ośmio-bębnowy			
6		2200	100	-	1200	-	GE	ośmio-bębnowy	stop NaK	jw.	projekt
7	Finlandia	51	5,77	10	1200	0,92	HUO	bębnowy	Ga-In	silnik OTANIEMI	1979
8	ZSRR	300	10	30	6000	-	MAI	tarczowy	ciekły metal	-	1973
9		600	20	30	3000	-	VNII - ELEKTROMAŠ	bębnowy	stop NaK	generator dla elektrolizy aluminium	w budowie
10		15600	60	160	-	-	VNII - ELEKTROMAŠ	bębnowy	stop NaK		projekt
11	RFN	40000	80	500	-	-	SIEMENS	bębnowy	NaK lub Ga-In	silnik	w budowie

LCIE-LGEP - LABORATOIRE DE GÉNIE ELECTRIQUE DE PARIS - LADORATOIRE CENTRAL DES INDUSTRIES ELECTR. FONTENAY AUX ROSES (Francja)
GECRD - GENERAL ELECTRIC CORPORATE RESEARCH AND DEVELOPMENT SCHENECTADY, New York (USA)
NRSDC - NAVAL SHIP RESEARCH AND DEVELOPMENT CENTER, ANAPOLIS (USA)
GE - GENERAL ELECTRIC
HUO - HELSINKI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY (Finlandia)
MAI - MOSKOVSKIJ AVIACJIONNYJ INSTITUT MOSKWA (ZSRR)
VNII - ELEKTROMAŠ - VSESOJUSNIJ NAUČNO-ISSLEDOVATELNYJ INSTITUT ELEKTROMAŠINOSTROJENIJA Leningrad (ZSRR)

nych" połączenie szeregowe sem indukowanych w wirujących tarczach. Powierzchnie boczne, od których żądamy aby nie przewodziły prądu, są zaizolowane. Zbieracze prądowe "zatopione" stanowiły najwcześniejsze rozwiązanie i były stosowane w maszynie francuskiej i pierwszych modelach amerykańskich. Ten typ zbieracza charakteryzuje się znacznymi stratami tarcia oraz elektrycznymi, wynikłymi z możliwości zwarć obwodu w poprzek wytworzonego napięcia oraz od prądów cyrkulacyjnych od zewnętrznego pola magnetycznego. Zapewniają one poprawny styk przy każdej prędkości obrotowej, włączając zero, co nie jest bez znaczenia w przypadku pracy silnikowej maszyny.

Zbieracze "korytkowe" i to najczęściej z nieruchomym korytkiem i wirującym żebrem stosowane są w większości maszyn. Żeberka, tj. pierścienie wirujące o przekroju prostokątnym lub owalnym, wchodzą do korytek ukształtowanych w nieruchomej części maszyny, stanowiących zbiornik dla ciekłego metalu. Zestyk prądowy uzyskuje się przez odrzucenie siłami odśrodkowymi ciekłego metalu i utrzymaniu go w równomiernej odległości dookoła korytek. W rzeczywistości, budowa zbieracza prądowego jest bardziej skomplikowana i zarówno korytko, jak i żebra są przystosowane różnymi elementami odrzucającymi do utrzymania ciekłego metalu w korytku.

2. KLASYFIKACJA CIECZY STOSOWANYCH W ZBIERACZACH PRĄDOWYCH Z CIEKŁEGO METALU

Ciesz stosowana jako środek przewodzący prąd elektryczny powinna spełniać następujące wymagania:

a) znajdować się w stanie ciekłym przy roboczej temperaturze styku, która może zmieniać się w granicach od 200 do 500°C, a nawet powyżej [3]. Temperatura topnienia cieczy powinna być niższa a temperatura wrzenia wyższa od roboczej temperatury cieczy w styku,

b) posiadać niską gęstość i małą lepkość dla zminimalizowania strat tarcia oraz dobrze zwilżać powierzchnię styku,

c) posiadać dużą konduktywność dla zmniejszenia strat elektrycznych,

d) zapewniać dobre schłodzenie styku, tj. posiadać wysoką przewodność cieplną właściwą i odpowiednią wartość ciepła właściwego,

e) zapewnić stabilną pracę styku w warunkach wymaganej prędkości obwodowej ruchomej elektrody, która może zmieniać się w granicach nawet powyżej 150 $\frac{m}{s}$, przy gęstości prądu od 400 $\frac{A}{cm^2}$ do 4000 $\frac{A}{cm^2}$ a nawet 6000 $\frac{A}{cm^2}$ [3],

f) zaspokajać wymagania bezpieczeństwa pracy obsługi (nietoksyczna, niepalna),

g) stałość własności fizykochemicznych,

h) małą reaktywność z elementami konstrukcyjnymi i izolacyjnymi maszyny,

i) małą reaktywność ze składnikami chemicznymi powietrza i wilgocią zawartą w powietrzu,

j) niewrażliwa na działanie pól magnetycznych zewnętrznych w obszarze styku.

Jak wykazały liczne prace najodpowiedniejszymi cieczami dla zbieraczy prądowych są chemicznie czyste ciekłe metale względnie ich stopy. Największe praktyczne zastosowanie znalazła rtęć Hg (przy prędkości wirującej elektrody $v < 50 \frac{m}{s}$ i temperaturze pracy $\vartheta < 200^{\circ}C$) i jej amalgamaty z indem oraz eutektyczny stop sodu z potasem $NaK_{78\%}$ przy $v < 200 \frac{m}{s}$, $\vartheta < 500^{\circ}C$. Perspektywiczne są także stopy galu z indem.

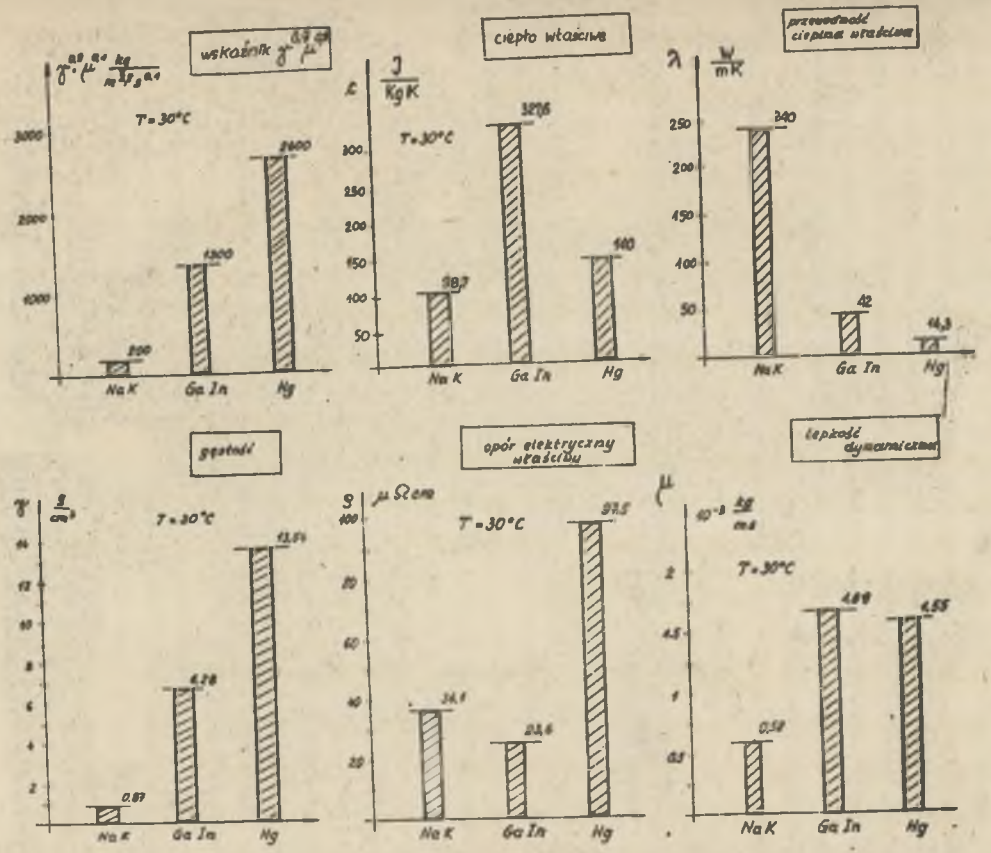
Na rys. 4 podano ważniejsze własności fizykochemiczne trzech najczęściej stosowanych cieczy w zbieraczach prądowych, a mianowicie: $NaK_{78}^{\%}$ ($\vartheta_{top} = -11\ ^{\circ}C$, $\vartheta_{wrz} = 784^{\circ}C$), $Ga_{78\%}$ In ($\vartheta_{top} = 15{,}8^{\circ}C$, $\vartheta_{wrz} = 2000^{\circ}C$), Hg ($\vartheta_{top} = -38{,}9^{\circ}C$, $\vartheta_{wrz} = 356{,}6^{\circ}C$).

2.1. Własności zbieraczy prądowych z rtęci

Rtęciowe zbieracze prądowe stosowane były w niektórych maszynach unipolarnych budowy konwencjonalnej [3]. Poważną wadą rtęci jest toksyczność jej par a także wysoka gęstość prowadząca do znacznych strat tarcia szczególnie przy wysokich prędkościach liniowych ($\Delta P_{tar} = c\, v^3$). Należy zwrócić uwagę na silne działanie korodujące rtęci na elementy konstrukcyjne styków, szczególnie miedzianych, co wymaga stosowania ochronnych powłok z niklu i rodu. Obszary strefy styku powinny być hermetyzowane przed dostępem powietrza a sam zestyk powinien pracować w atmosferze gazu obojętnego, np. argonu.

2.2. Własności zbieraczy prądowych ze stopu sodu z potasem

Najczęściej stosowany w zbieraczach prądowych, zarówno w maszynach unipolarnych budowy konwencjonalnej, jak i z nadprzewodnikowym uzwojeniem wzbudzenia (tabela III), jest eutektyczny stop sodu z potasem, o zawartości 77,3% potasu. Charakteryzuje się on niską gęstością i posiada względnie dobre własności elektryczne i cieplne. Eutektyczny stop NaK może współpracować z wieloma materiałami konstrukcyjnymi i przewodzącymi prąd (miedź). Podstawową wadą stopu NaK jest bardzo silna reaktywność z tlenem (do postaci Na_2O), dwutlenkiem węgla z wodą i parą wodną (do postaci wodorotlenku sodu i potasu), a także reagowanie z wieloma materiałami organicznymi, będącymi składnikami izolacji elektrycznej maszyny. Wymaga to stosowania tzw. osłony gazowej, tj. układu cyrkulacji gazu obojętnego (np. suchego azotu) względnie argonu w maszynie z ciągłym usuwaniem z obiegu tlenu, wilgoci, skroplonych par NaK oraz cząstek organicznych. Układ obiegowy ciekłego metalu powinien być ponadto wyposażony w odpowiednią aparaturę usuwającą z obiegu rozpuszczone w cieczy zanieczyszczenia i tlenki.



Rys. 4. Porównanie podstawowych własności fizykochemicznych metali i ich stopów stosowanych w zbieraczach prądowych

Dla pełnej oceny możliwości wykorzystania stopu NaK jako cieczy przewodzącej prąd, przeprowadzone były w firmie Westinghouse (USA) szczegółowe badania możliwości współpracy ciekłego metalu z materiałami konstrukcyjnymi, izolacyjnymi, uszczelniającymi, powlekającymi, lutowiem itp. w zakresie temperatur do 140°C [14]. Wyniki badań wykorzystano w budowie maszyny unipolarnej "Segmag" o mocy 2,2 MW; 20,8 V; 107 kA z konwencjonalnym uzwojeniem wzbudzenia. Przy analizie węzła rozważono alternatywne układy; pełną hermetyzację węzła zapewniającą stałość masy ciekłego metalu w zestyku lub zastosowanie zamkniętego systemu, gwarantującego ciągłość zasilania zbieracza prądowego ciekłym metalem. Ze względu na niemożliwość wykonania niezawodnego uszczelnienia ciernego z materiałów nie reagujących ze stopem NaK na wymaganej średnicy (przy prędkości 3600 $\frac{obr}{min}$) zdecydowano się przyjąć zamknięty układ obiegowy.

W pracy [13] podany jest laboratoryjny układ obiegu NaK z osłoną argonową.

2.3. Własności zbieraczy prądowych z galu, względnie stopu galu z innymi metalami

Zastosowanie w niektórych maszynach unipolarnych galu a częściej stopu galu z indem w miejsce rtęci czy stopów sód-potas, okazało się atrakcyjne ze względu na niską rezystywność galu i wysoką wartość ciepła właściwego. Stopy te jednak charakteryzują się największą aktywnością chemiczną z materiałami konstrukcyjnymi i zmianą własności chemiczno-fizycznych, przy bezpośrednim kontakcie z powietrzem. Stwierdzono [6], [7], że pod wpływem powietrza ciekły gal przechodzi w stan stały, tworząc gęstą pastę, która ulega rozwarstwieniu w wirującym zbieraczu prądowym, powodując bardzo niebezpieczną przerwę w pracy styku. Często pasta przechodzi w szary proszek, mimo stosowania osłony gazowej w postaci np. argonu.

Wyniki bardzo szczegółowych badań przeprowadzonych w ZSRR [8] wykazały, że dla zapewnienia normalnej pracy zbieracza prądowego należy wyeliminować możliwość stykania się swobodnej powierzchni galu z gazem. Efektywna ochrona galu od wpływu otaczającego ośrodka jest możliwa przy osłonie powierzchni galu warstwą wody destylowanej w atmosferze argonu lub warstwą wody zakwaszonej kwasem solnym. W tym ostatnim przypadku odpada konieczność wytwarzania neutralnej atmosfery argonowej.

2.4. Własności zbieraczy prądowych ze stopu rtęci z indem

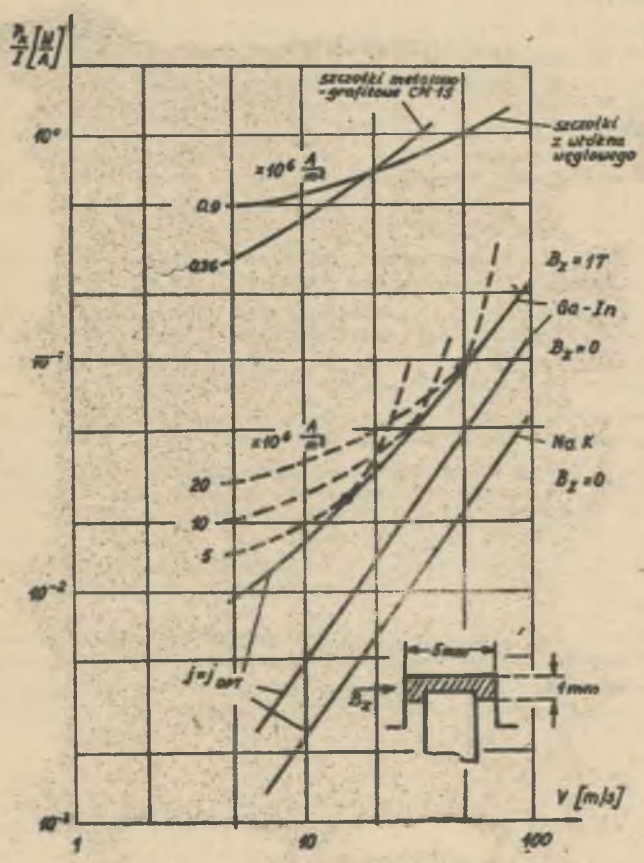
Zastosowanie amalgamatów indu w zbieraczach prądowych było przedmiotem badań przy projektowaniu maszyn unipolarnych w LCIE we Francji [10]. Przebadane zostały własności stopu rtęci z indem oraz wpływ procentowej zawartości poszczególnych składników na zmianę gęstości amalgamatu, stabilność w otoczeniu powietrza itp. Amalgamaty indu przy odwirowaniu ich w powietrzu zachowują się podobnie jak gal, tj. tworzą pianę a nawet pastę,

zaś w środowisku gazu obojętnego, np.: argonu, azotu, dwutlenku węgla obserwuje się wytworzenie proszku.

3. ZAKOŃCZENIE

Od kilku lat prowadzone są równolegle w wielu krajach badania doświadczalne nad doborem najodpowiedniejszych zbieraczy prądowych dla nadprzewodnikowych maszyn unipolarnych.

Wybór typu zestyku prądowego uwarunkowany jest konstrukcją maszyny unipolarnej (nisko względnie wysoko napięciowa), stratami w zbieraczu prądowym, obecnością pól magnetycznych poosiowych i promieniowych w strefie styku oraz niezawodnością w eksploatacji.



Rys. 5. Porównanie całkowitych strat mocy w różnych zbieraczach prądowych w funkcji prędkości obrotowej

Na rys. 5 przedstawiono porównanie [4] całkowitych strat w zbieraczu prądowym z ciekłego metalu (NaK, Ga-In) o prostokątnym kształcie styku w stosunku do zbieraczy szczotkowych, w zależności od prędkości obwodowej (v) i wielkości poosiowego pola magnetycznego (B_z). Straty mocy w zbieraczach prądowych z ciekłego metalu są blisko o dwa rzędy mniejsze od strat w zestykach szczotkowych.

Zbieracze "hybrydowe" są obecnie przedmiotem wstępnych badań.

LITERATURA

[1] Alievskij B.L., Oktrjabrskij A.M., Orlov V.L.: Eksperimentalnaja sverchprovodnikovaja unipoljarnaja mašina. Izv. AN ZSRR Energetika i Transport Nr 2, 1975 r.

[2] Appleton A.D.: High current dc homopolar generator using carbon fibre brushes. Proc. 5 Int.Conf. Mag.Techn. Roma 1975 r.

[3] Biertinov A.I., Alievskij B.A., Troickij S.R.: Unipoljarnyje električeskie mašiny. Izd. Energija 1966 r.

[4] Eriksson J.T.: Design aspects on superconducting dc motor using a new method of liquid metal current collection. Sähkö Nr 7/8 1976 r.

[5] Kalašnikov V.K., Kruglina V.A., Ponomarjeva A.A.: Ossobennosti raboty skolzjašćego kontakta v električeskich mašinach so sverchprovodjašciej sistemoj vozbuždenija. Elektrotechnika Nr 8, 1981 r.

[6] Kendall P.W.:Liquid metal brushes for homopolar generators. Electrical Reviev Jan. 1973 r.

[7] Lewis D.I.: Practical homopolar machines - use of liquid metal slip rings. Journ. of Science and Technology Nr 2, 1971 r.

[8] Lysov N.E., Godžello A.G., Degtjar V.G.: Povedenie gallija vo vraščajuščetsja židkometalličeskom kontakte. Elektrotechnika, Nr 11,1968 r.

[9] Mc Nab I.R., Wilkin G.A.: Carbon-fibre brushes for superconducting machines. Proc. IEE Electronis and Power Jan. 1972 r.

[10] Poulain J., Robert J.: Propriétés et applications à l'electrotechnique des amalgames d'indium. RGE t. 75, Nr 2, 1966 r.

[11] Program badań i założenia techniczno-konstrukcyjne zestyku z ciekłego metalu dla silnika unipolarnego nadprzewodnikowego o mocy 2MW. Prace naukowo-badawcze Inst. Maszyn i Urządzeń Elektrycznych Pol. Śląskiej w Gliwicach, 1981 r.

[12] Stevens H.O., Superczyński M.J. i inni: Superconducting machinery for naval ship propulsion. IEEE Transactions on Magnetics vol. MAG-13,Nr1 1977 r.

[13] Suchanov L.A., Karmanov G.A.: Unipoljarnaja mašina postojannogo toka s natrievo-kalievymi koloevymi kontaktami. Elektrotechnika, Nr 10, 1969 r.

[14] Witkowski R.E., Arcelia F.G., Keaton A.R.: Vital support for liquid metal collector homopolar machines. IEEE Transactions on PAS. vol.95, Nr 4, 1976 r.

Recenzent: doc. dr inż. Jerzy Hickiewicz

Wpłynęło do redakcji 5.IV.1982 r.

ТОКОСЪЕМНЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ УНИПОЛЯРНЫХ МАШИН
СО СВЕРХПРОВОДЯЩИМИ ОБМОТКАМИ ВОЗБУЖДЕНИЯ

Р е з ю м е

Представлено актуальное состояние конструкции токосъемных устройств применяемых в сверхпроводящих униполярных машинах. Даны основные свойства щеточных контактов и классификация жидкостей применяемых в токосъемных устройствах из жидкого металла.

CURRENT COLLECTION SYSTEMS FOR HOMOPOLAR MACHINES
WITH SUPERCONDUCTING FIELD WINDINGS

S u m m a r y

The actual information on the research and development of current collectors in superconducting homopolar machines is presented.

The characteristic properties of contact carbon brushes and classification of liquid metal used in current collectors are described.