

**Uniwersytet Technologiczno –Przyrodniczy
w Bydgoszczy**
Wydział Telekomunikacji, Informatyki i Elektrotechniki
Zakład Elektroenergetyki



Laboratorium Inżynierii materiałowej

Instrukcja do ćwiczenia:

Wyznaczanie rezystywności materiałów szczotkowych

Opracowała
dr inż. Maria Derecka

Bydgoszcz, 2016 r.

1. Wprowadzenie

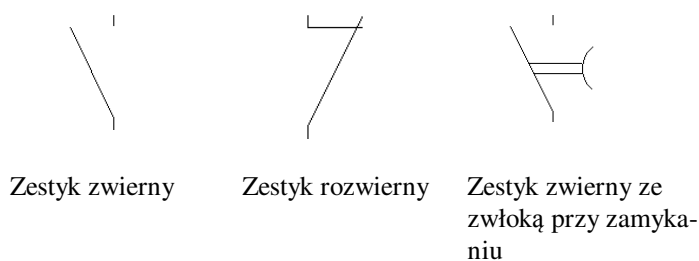
Celem ćwiczenia jest:

- poznanie materiałów stosowanych do wyrobu zestyków ślizgowych,
- poznanie ich właściwości i wymagań eksploatacyjnych.

Należy przypomnieć sobie następujące zagadnienia omawiane na wykładach:

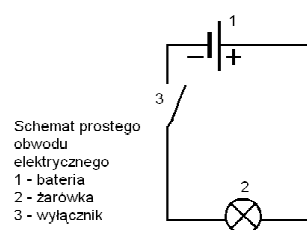
- czym jest rezystywność elektryczna skrośna (ρ) i konduktywność elektryczna (γ), jaka jest zależność pomiędzy tym dwoma wielkościami, jednostki do wyrażania tych wielkości;
- podział materiałów elektrotechnicznych ze względu na wartość rezystywności.

Zestyk jest elementem obwodu elektrycznego, który zapewnia połączenie torów prądowych tego obwodu. Część zestyku należąca do jednego odcinka toru prądowego nazywa się *stykiem*. A więc styki są częściami składowymi zestyku. Przykłady symboli graficznych rozmaitych zestyków pokazano na rys. 1., na rys. 2 zaś - prosty obwód elektryczny, w którym użyto symbolu zestyku zwierne-go.



Rys. 1. Przykłady symboli graficznych zestyków
Zaczerpnięto z:

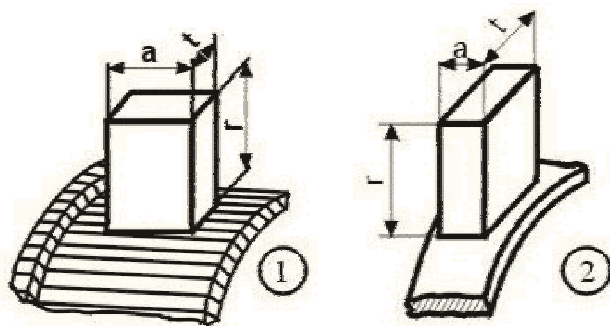
http://www.ige-xao.pl/cad_elektryczny/PNE_Zestyki.htm



Rys. 2. Schemat elektryczny prostego obwodu

Szczególnym rodzajem zestyku jest *zestyk ślizgowy*. Jednym z jego styków jest nieruchoma szczotka, która kontaktuje się z drugim zestykiem, będącym w ruchu (jest to pierścień z materiału przewodzącego lub komutator, składający się wycinków materiału przewodzącego przedzielonych materiałem izolacyjnym). Zestyki ślizgowe służą do połączenia tych części obwodu elektrycznego maszyny, które są umieszczone na ruchomym wirniku, z pozostałymi częściami obwodu. Rodzajem zestyku ślizgowego są też *odbieraki prądu* stosowane w trakcji.

Na rys. 3 pokazano dwa układy zestyków ślizgowych, a na rys. 4 – ich symbol graficzny.

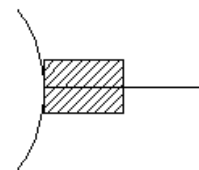


Rys. 3. Układy zestyków ślizgowych

1. Szczotka współpracująca z komutatorem.
2. Szczotka współpracująca z pierścieniem ślizgowym.

Zaczerpnięto z:

<http://www.elektrocarbon.pl/szczotki.php>



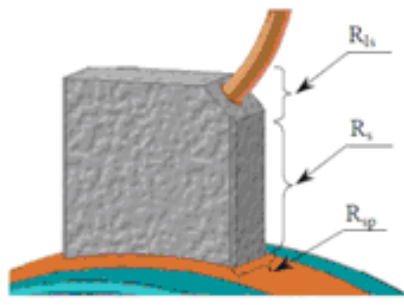
Rys. 4. Symbol graficzny układu zestyku ślizgowego: szczotka (na pierścieniu ślizgowym lub komutatorze)

Zaczerpnięto z:

http://www.ige-xao.pl/cad_elektryczny/PNE_Maszyny_elektryczne.htm

Zadaniem zestyku ślizgowego jest połączenie elementów obwodu. Wymagania, jakie są mu stawiane ze względu na rolę w obwodzie elektrycznym to przede wszystkim mała rezystancja zestyku (patrz rys. 5), aby zapewnić:

- mały spadek napięcia,
- małe wydzielanie się ciepła.



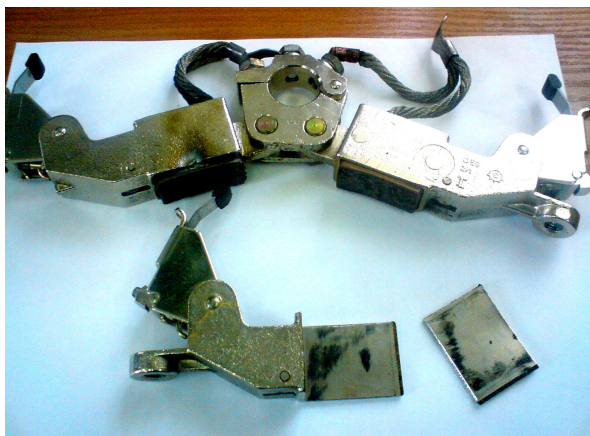
Rys. 5. Charakterystyczne rezystancje pierścieniowego zestyku ślizgowego. R_{ls} – rezystancja linki szczotki, R_s – rezystancja szczotki, R_{sp} – rezystancja szczotki pierścieni. Zaczepnięto z [3]:

Podczas pracy nie powinno występować iskrzenie. Tarcie powinno być małe. Materiał szczotki i komutatora (lub pierścienia) nie powinien ulegać szybkiemu zużyciu. Jak często stanowi to duży problem, mogą świadczyć nie tylko publikacje w czasopismach technicznych [2, 3], ale i dyskusje na forach internetowych hobbystów-elektryków (w cytatach zachowano oryginalny styl dyskusantów):

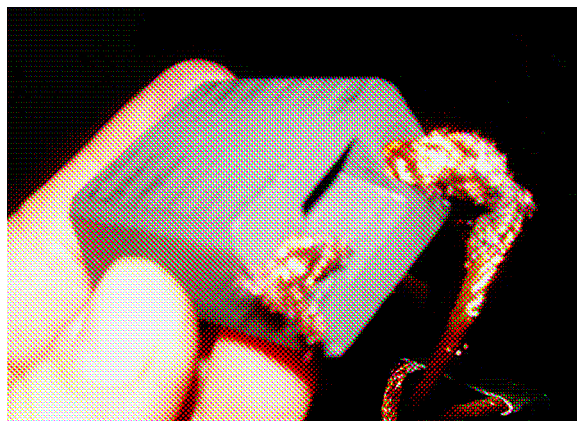
„witam, obejrzyj jeszcze raz dokładnie **komutator**, wystarczy, że będzie jakiś mały zadziór, jakaś nierówność, i wtedy **szczotki** znikną w mgnieniu oka...”

„może jeśli **szczotki** są marnej jakości to **komutator** będzie się grzał i palił...”

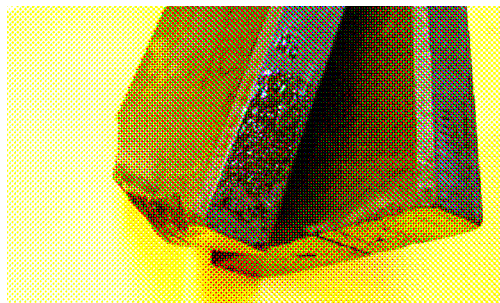
Na rysunkach 6, 7, 8 przedstawiono przykłady uszkodzeń szczotek zaczerpnięte z publikacji [2].



Rys. 6. Przykład uszkodzonych trzymadeł i szczotek na skutek użycia szczotek z niewłaściwego materiału [2]



Rys. 7. Przykład zniszczonej szczotki przez sprężynę dociskową, z której odpadła tekstolitowa nasadka [2]



Rys. 8. Szczotki i trzymadło szczotkowe silnika trakcyjnego lokomotywy EP09 z naciekami substancji żywicznej powodującej zakleszczanie się szczotek [2]

Widać więc, że ten element urządzeń elektrycznych musi sprostać podczas pracy wielu obciążeniom i spełnić surowe wymagania.

Do wykonania szczotek służą takie materiały jak [1]:

- metalografity (spiekane proszki grafitu i proszki metali);
- węlografity (proszki grafitu, sadzy, koksów lepiszczami, prasowane i wypalane);
- grafity (proszki grafitu, prasowane i wypalane);
- węgiel;
- elektrografity (skład jak węlografity, lecz poddane procesowi grafityzacji w bardzo wysokiej temperaturze).

Materiały szczotkowe charakteryzuje się podając następujące ich parametry [1]:

- masa właściwa,
- rezystancja,
- trwałość,
- wytrzymałość mechaniczna,
- ścieralność,
- dopuszczalna gęstość prądu,
- spadek napięcia na rezystancji przejścia,
- współczynnik tarcia.

Mnóstwo świetnych informacji (firmowych) o szczotkach (konstrukcje, materiały, właściwości, oznaczenia, zastosowania, ...) można znaleźć na stronach:

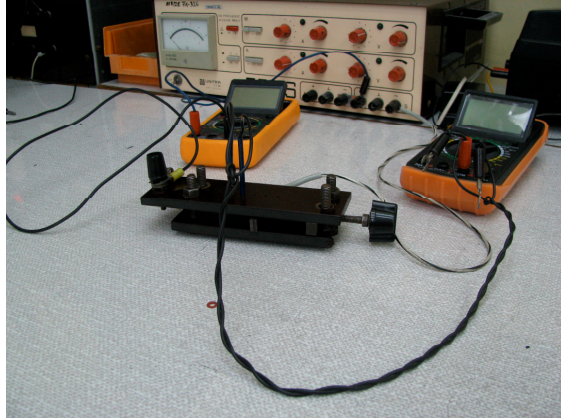
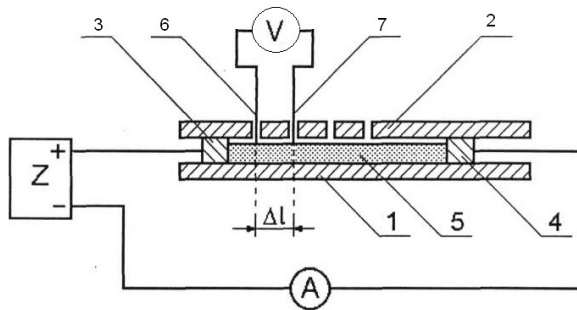
http://www.morgancarbon.pl/downloadf/katalog_morgan_carbon.pdf

<http://www.elektrocarbon.pl/szczotki.php>

2. Przebieg ćwiczenia

2.1. Układ pomiarowy

Schemat ideowy układu pomiarowego oraz wygląd stanowiska pomiarowego przedstawiono na rys. 9, a na rys. 10 – elementy stanowiska.



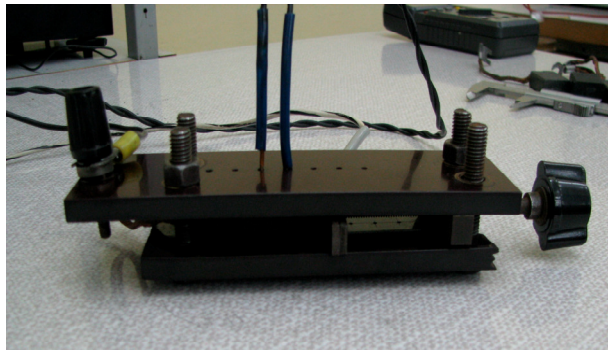
Rys. 9. Układ pomiarowy. Objasnienia 1 - ława pomiarowa, 2 - pokrywa, 3 - elektroda nieruchoma, 4 - elektroda ruchoma, 5 – badana szczotka, 6, 7 - przewody zakończone elektrodami ostrzowymi, A - amperomierz, V - miliwoltomierz, Z - zasilacz o regulowanej wartości prądu.

Podczas ćwiczenia wymuszamy przepływ prądu (o wartości nieprzekraczającej dopuszczalnej), mierzymy spadki napięcia podczas przepływu prądu w tym celu, aby obliczyć rezystywność materiału szczotkowego. Aby wyznaczyć dopuszczalną wartość prądu pomiarowego, musimy znać wymiary przekroju poprzecznego szczotki. Dokonujemy pomiaru za pomocą suwmiarki.

a)



b)



Rys. 10. Elementy układu pomiarowego. Objasnienia: a) szczotki i suwmiarka, b) ława pomiarowa.

2.2. Przygotowanie próbek oraz stanowiska

Dla każdej z 6 badanych szczotek należy wyznaczyć wartość prądu pomiarowego taką, aby nie spowodować nadmiernego nagrzewania szczotek. Ta wartość wynika bezpośrednio z dopuszczalnej gęstości prądu j

$$2 < j < 5 \left[\frac{\text{A}}{\text{cm}^2} \right] \quad (1)$$

oraz przekroju poprzecznego szczotki. Wobec tego należy wykonać pomiary przekroju poprzecznego (grubość, szerokość) wykorzystując do tego celu suwmiarkę (dokonamy pomiaru w mm!; przekrój poprzeczny należy wyrazić w cm^2 , a następnie obliczyć dopuszczalną wartość prądu pomiarowego).

Badaną szczotkę 5 należy umieścić na ławie pomiarowej 1. Nałożyć pokrywę 2 i elektrodą ruchomą 4 docisnąć szczotkę do elektrody nieruchomej 3 (patrz rys. 10). Po włączeniu zasilacza Z wymusić w obwodzie przepływ pomiarowego o wartości wcześniej obliczonej, takiej, żeby nie przekroczyć dopuszczalnej gęstości prądu podanej w nierówności (1).

2.3. Badania pomiary spadków napięcia i rezystywności skrośnej różnych typów szczotek

Ustawiamy wartość prądu zasilającego. Mierzmy każdorazowo spadek napięcia umieszczając elektrody ostrzowe w otworach oddalonych od siebie o 1 cm, 2 cm, 3 cm, ... (w zależności od wymiarów szczotki). Wykorzystujemy informację, że odległość pomiędzy sąsiednimi otworami wynosi 1 cm, pozwala to na łatwe wyznaczenie krotności tej elementarnej odległości w wielu miejscach próbki. Wyniki zamieszczamy w tabeli 1.

2.4. Opracowanie wyników badań

Po przekształceniu wzoru na rezystancję R

$$R = \frac{\rho \cdot \Delta l}{S} = \frac{\Delta U}{I}, \quad (2)$$

gdzie: ρ – rezystywność skrośna, Ωcm , Δl – odległość pomiędzy elektrodami ostrzowymi, cm, S – pole powierzchni przekroju szczotki, cm^2 , ΔU – spadek napięcia na długości Δl , V, I – prąd pomiarowy, A;

możemy wyznaczyć wartość rezystywności materiału szczotki ze wzoru

$$\rho = \frac{\Delta U \cdot S}{I \cdot \Delta l}. \quad (3)$$

Wyniki należy umieścić w tabeli 1. Dla każdej ze szczotek wykonujemy wielokrotnie pomiary i obliczenia (liczba pomiarów zależy od długości próbki). Aby wyznaczyć wartość rezystywności charakteryzującą konkretny typ szczotki, należy obliczyć średnią z tych wielu pomiarów (umieszczamy ją w tabeli 2).

Tabela 1. Wyniki pomiarów i obliczeń dla szczotki
(oznaczenie badanej szczotki i jej opis)

Wyniki pomiarów						Wyniki obliczeń
L. p.	Wymiary przekroju poprzecznego, mm × mm	Przekrój mm^2	Prąd pomiarowy I , A	Odległość pomiędzy elektrodami Δl , mm	Spadek napięcia, ΔU , mV	Rezystywność skrośna obliczona ze wzoru (3), Ωcm
1						
.....						
n						

Tabela 2. Wyniki obliczeń średniej rezystywności szczotek

L. p.	Oznaczenie badanej szczotki i jej opis	Średnia wartość rezystywności szczotki (obliczona jako średnia arytmetyczna wartości uzyskanych z pomiaru)	Katalogowa wartość rezystywności (Załącznik, strony internetowe producentów)

Należy skomentować wyniki obliczeń. Omówić praktyczne znaczenie wartości badanego parametru. Wartość rezystywności porównać z zakresem wartości materiałów przewodowych i izolacyjnych.

Literatura

[1] Celiński Z. - Materiałoznawstwo elektrotechniczne. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2005 r.

[2] Małota K. „*Problemy eksploatacyjne oraz diagnostyka zakłóceń i awarii występujących w pracy maszyn elektrycznych z zestykiem ślizgowym*”. Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne Nr 1/2012 (94) . Publikacja na stronie:
http://www.komel.katowice.pl/ZRODLA/FULL/94/ref_15.pdf

[3] Wilk A., Dobrowolski P., Kostro G. „*Wpływ falistości pierścienia ślizgowego na rozptyw prądu w zestyku ślizgowym maszyny synchronicznej*”. Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne Nr 72/2005
Publikacja na stronie:
http://www.komel.katowice.pl/ZRODLA/FULL/72/ref_15.pdf

[4] Strona internetowa <http://poszukaj.elektroda.pl/szukaj,komutator-szczotki.html>

Ze strony

<http://www.elektrocarbon.pl/download/szczotki-tabele.pdf>

1.1 NAJCZĘŚCIEJ STOSOWANE MATERIAŁY SZCZOTKOWE I ICH WŁAŚCIWOŚCI ELEKTROFIZYCZNE

Materiały metalografitowe

Marka	Gęstość znamionowa prądu I_N A/cm ²	Prędkość obwodowa max v_m m/s	Nacisk jednost- kowy kPa	Rezystyw- ność ρ $\mu\Omega m$	Twardość Shore'a °Sh (Rockwella) (HR 10/40) (HR 5/40)*	Spadek napięcia na jednej parze ΔU V	Współczyn- nik tarcia max μ	Gęstość pozorna g/cm ³
1	2	3	4	5	6	7	8	9
B	-	-	-	0,2-0,8	(45-75)	-	-	3,7-4,3
C50	-	-	-	1,0-4,5	15-30	-	-	2,8-3,3
CB69	-	-	-	0,05-0,6	(50-80)	-	-	4,5-5,3
F	-	-	-	0,05-0,4	(45-80)	-	-	4,5-5,2
M25	15	20	20	4,5-10,0	15-30	1,5-2,2	0,25	2,1-2,5
M40	-	-	-	3,0-7,0	10-23	1,0-1,8	0,20	3,6-4,0
M48	15	25	20	1,4-8,5	14-30	1,1-1,9	0,23	2,9-3,4
M50	15	25	20	2,1-5,3	17-30	1,2-1,9	0,23	2,8-3,2
M68	18	20	20	0,6-1,5	14-27	0,8-1,4	0,24	3,7-4,2
M78	20	20	20	0,04-0,09	10-18	0,2-0,4	0,20	5,6-6,2
M82s (R5, R7)	20	20	17,5	0,05-0,3	10-22	< 0,4	0,25	5,4-6,2
M83	20	20	17,5	0,06-0,18	10-21	0,2-0,4	0,23	4,5-5,1
M87	20	20	17,5	0,04-0,09	7-14	0,2-0,4	0,20	6,1-6,7
M90s	-	-	-	< 0,10	10-22	-	-	5,7-7,2
R08	16	-	-	0,22	18	1,3	0,12	3,5
R10	-	-	-	0,5-5,0	(35-70)	-	-	2,9-3,9
R11	-	-	-	0,04-0,28	(45-80)	-	-	4,5-5,2
R22 (R20)	-	-	-	0,7-8,5	(40-70)	-	-	2,9-3,9
SM3	15	-	20	0,65-3,45	21-37	1,8	0,17	-

Uwaga: Niektóre materiały metalografitowe wykonywane są w kilku odmianach technologicznych, np. przez sprasowanie korpusów szczotek z proszków na gotowo. Posiadają one dodatkowy znak (s lub p) w symbolu marki materiału. Ze względu na inną metodykę badań, parametry elektrofizyczne tych odmian podają odpowiednie normy zakładowe.

Materiały elektrografitowe

Marka	Gęstość znamionowa prądu I_N A/cm ²	Prędkość obwodowa max v_m m/s	Nacisk jednost- kowy kPa	Rezystyw- ność ρ $\mu\Omega m$	Twardość Shore'a °Sh (Rockwella) (HR 10/40) (HR 5/40)*	Spadek napięcia na jednej parze ΔU V	Współczyn- nik tarcia max μ	Gęstość pozorna g/cm ³
1	2	3	4	5	6	7	8	9
E13	12	40	22	10-16	17-31	1,2-2,5	0,23	1,5-1,8
E17	10	25	20	15-22	17-38	2,1-3,0	0,20	1,4-1,8
E17S	8-10	80	13-20	15-25	20-41	1,9-3,0	0,20	1,4-1,8
E22	10	25	22	15-28	27-50	1,7-2,6	0,22	1,5-1,8
E28	10	40	22	22-35	38-60	1,6-2,8	0,24	1,5-1,8
E28S	10	40	22	20-43	40-67	1,6-2,8	0,22	1,65-2,0
E30	10	40	22	28-42	33-60	1,6-2,7	0,24	1,5-1,8
E30K	10	40	18-22	26-41	35-62	1,6-2,7	0,24	1,5-1,8
E33S	12	50	18-22	27-42	35-60	1,6-2,7	0,24	1,5-1,8
E35	10	40	22	32-48	40-65	1,7-2,8	0,24	1,5-1,8
E35S	10	40	18-22	30-60	40-65	1,6-2,8	0,23	1,6-1,9
E40K	10	40	18-22	27-42	35-62	1,6-2,7	0,24	1,5-1,8
E44S	10	40	18-22	37-52	40-65	1,6-2,7	0,24	1,5-1,8
E46	12	40	20	25	(50)	2,2-3,0	0,22	1,40
E49	12	40	20	60	(90)*	>3,0	0,15	1,60
E50	12	40	20	100	(110)*	>3,0	0,15	1,65
E101	12	40	20	45	(90)*	2,2-3,0	0,15	1,58
EG12	10	40	18	23	63	1,8	0,15	1,60
EG14D	12	40	21	45	67	2,2	0,13	1,63
EG16	12	50	21	45	57	2,1	0,15	1,60
EG109	10	50	21	28-56	73	2,4-3,6	0,10	1,60
EG116	12	50	21	58	62	2,4	0,15	1,57
EG236S	12	50	21	45	57	2,1	0,13	1,60
EG251	12	60	21	54	60	2,22	0,12	1,68
EG259	10	60	21	53	66	2,8	0,10	1,75

Materiały elektrografitowe (c.d.)

Marka	Gęstość znamionowa prądu I_N A/cm ²	Prędkość obwodowa max v_m m/s	Nacisk jednost- kowy kPa	Rezystyw- ność ρ $\mu\Omega m$	Twardość Shore'a °Sh (Rockwella) (HR 10/40) (HR 5/40)*	Spadek napęcia na jednej parze ΔU V	Współczyn- nik tarcia max μ	Gęstość pozorna g/cm ³
1	2	3	4	5	6	7	8	9
EG260Z	12	50	21	12	40	1,76	2,0	1,53
EG283	12	60	21	62	45	2,9	0,10	1,47
EG300	12	50	18-35	42	54	2,3-3,0	0,20	1,55
EG319P	12	50	18	66	53	> 3,0	0,20	1,48
EG367	12	50	18	43	53	2,3-3,0	0,20	1,54
EG571	10	-	20	59-62	51-63	1,9	0,18	1,60
EG6749N	10	50	18-21	21-29	63	1,66	0,11	1,63
EG8101	10	30	18	52	64	2,8	0,10	1,70
EG98B (EG98Z)	12	50	18-35	36,5	63	2,3-3,0	0,20	1,66
EGE43	10	-	22	-	-	1,7	0,20	-
EGOR	10	50	18	12	36	1,9	0,15	1,60
RE50 (VE50)	8	80	13-20	9	12	2,0	0,15	1,30
RE60	12	50	20-35	52	70	2,2	0,11	1,63
RX88	10	35	20	180	25	> 3	0,10	1,68
RX91	10	40	20-28	330	(80)	4,2	0,15	1,41

Materiały grafitowe

Marka	Gęstość znamionowa prądu I_N A/cm ²	Prędkość obwodowa max v_m m/s	Nacisk jednost- kowy kPa	Rezystyw- ność ρ $\mu\Omega m$	Twardość Shore'a °Sh (Rockwella) (HR 10/40) (HR 5/40)*	Spadek napęcia na jednej parze ΔU V	Współczyn- nik tarcia max μ	Gęstość pozorna g/cm ³
1	2	3	4	5	6	7	8	9
G12	11	25	22	9-15	13-33	1,5-2,2	0,23	1,5-1,8
G20	11	25	22	17-26	15-34	1,6-2,3	0,25	1,4-1,8
G20S	10	30	18-20	15-26	16-38	1,6-2,5	0,22	1,5-1,9
HM24 (HM6R)	10	80	14	24	21,5	-	-	1,4
IM9101	8	30	21	102	39	3,1	0,05	1,8
LFC554	11-13	90	11-13	20	-	2,3-3,0	0,20	1,25
(LFC557)	6-10	75	15-18	8,5-20	10-25	2,65	0,20	1,58

Materiały węglagrafitowe i specjalne

Marka	Gęstość znamionowa prądu I_N A/cm ²	Prędkość obwodowa max v_m m/s	Nacisk jednost- kowy kPa	Rezystyw- ność ρ $\mu\Omega m$	Twardość Shore'a °Sh (Rockwella) (HR 10/40) (HR 5/40)*	Spadek napęcia na jednej parze ΔU V	Współczyn- nik tarcia max μ	Gęstość pozorna g/cm ³
1	2	3	4	5	6	7	8	9
8503	8-10	30	35-50	150-800	40	2,3-3,0	0,22	1,45-1,63
9072				1250-4500				1,46-1,58
A176	8-10	30	18-35	520	40	> 3	0,12	1,6
AG8	7	20	18-40	26	40	1,4-2,4	0,15	1,6
AOR3N				150-800	35-55			1,53-1,72
BG538 (BG485)	8	30		600-1200		> 3,0	0,12	1,53-1,73
F40	10	30	20	110	(100)	> 3,0	0,15	1,80
F61	10	30	20	225	(100)	> 3,0	0,15	1,70
L42F10	16	40	28	225	(90)*	> 3,0	0,15	1,55
L63F7	14	50	24	725	(85)*	> 3,0	0,22	1,58
L82F10	16	50	25	375	(85)*	> 3,0	0,22	1,58
L94F7	10	50	22	1250	(105)	> 3,0	0,22	1,55
PM70D	4	20	21	460-1120	> 30	2,4-3,6	0,20	1,40
RH94	5	20	35	500	75	2,5	0,40	1,40

Uwagi do tablic: 1. w kolumnie 1. **Marka** w nawiasach podano starsze odpowiedniki marek, obecnie wycofywane.

2. w kolumnie 6. **Twardość** bez nawiasów podano twardości mierzone metodą Shore'a - °Sh
a w nawiasach metodą Rockwella () - HR 10/40 lub ()* - HR 5/40.