

Materiały przewodzące

**Właściwości podstawowych materiałów
przewodzących**

2

Materialy przewodzące

Właściwości materiałów przewodzących należy podzielić na:

Właściwości cieplne:

- 1. Temperatura topnienia**
- 2. Temperatura wrzenia**
- 3. Współczynnik przewodzenia ciepła**
- 4. Współczynnik temperaturowy rozszerzalności liniowej**

Właściwości mechaniczne:

- 5. Wytrzymałość na rozciąganie**
- 6. Wydłużenie przy zerwaniu**
- 7. Gęstość masy**

Materiały przewodzące

Właściwości elektryczne:

8. Rezystywność ρ

9. Temperaturowy współczynnik rezystancji α

Materiały przewodzące

Materiały przewodowe

Materiały przewodzące

1.Miedź

Masa właściwa 8890 kg/m^3

1.Temperatura topnienia $T = 1356 \text{ K}$

2.Temperatura wrzenia $T = 2868$

3.Współczynnik przewodzenia ciepła $395 \text{ W/m}^{\circ}\text{K}$

4.Współczynnik temperaturowy rozszerzalności $1.7 \cdot 10^{-5} \text{ 1/K}$

5. Wytrzymałość na rozciąganie

a. miedź miękka $(20 - 26) \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$

b. miedź twarda $(33 - 38) \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$

6. Wydłużenie przy zerwaniu

a. miedź miękka $(15 - 30)\%$

b. miedź twarda $(1,5 - 3,5)\%$

Materiały przewodzące

7. Rezystywność $\rho = 17,2 \cdot 10^{-9} \Omega \cdot \text{m}$

8. Temperaturowy współczynnik rezystancji $\alpha = 0,0041 \text{ 1/K}$

Zalety:

Najwyższa (po srebrze) przewodność cieplna i elektryczna.

Wady:

Niska odporność na korozję w obecności siarki, którą zawiera guma, stosowana jako izolacja. W celu uniknięcia kontaktu z nią miedź pokrywają powłoką z cyny.

Miedź utwardza się podczas obróbki mechanicznej: walcowanie, kucie, wyciąganie, prasowanie, wyciskanie.

Miedź miękka powstaje po wyżarzaniu w temperaturach powyżej 250°C .

2.Aluminium

Masa właściwa 2700 kg/m^3

1.Temperatura topnienia $T = 931 \text{ K}$

2.Temperatura wrzenia $T = 2273 \text{ K}$

3.Współczynnik przewodzenia ciepła $222 \text{ W/m}\cdot\text{K}$

4.Współczynnik temperaturowy rozszerzalności $2,4 \cdot 10^{-5} \text{ 1/K}$

5. Wytrzymałość na rozciąganie $(8 - 17) \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$

6. Wydłużenie przy zerwaniu $2,5\%$

7. Rezystywność $\rho = 28,7 \cdot 10^{-9} \Omega \cdot \text{m}$

8. Temperaturowy współczynnik rezystancji $\alpha = 0,0041 \text{ 1/K}$

Materiały przewodzące

Zalety aluminium:

1. Niska, w porównaniu do miedzi, masa właściwa : 2,7 tony/m³ do 8,89 tony/m³.

2. Niska, w porównaniu do miedzi, cena: 2580 \$ za tonę do 9160 \$ za tonę. Oznacza to, że 1 metr sześcienny miedzi jest około 11 razy droższy niż aluminium.

Z porównania rezystywności miedzi i aluminium wynika że przewód z aluminium o takiej samej rezystancji, jak i przewód miedziany, powinien mieć przekrój, a znaczy i objętość 1,67 razy większą, niż przewód miedziany. Cena przewodu gołego z aluminium będzie około 6 razy mniejsza, niż przewodu miedzianego.

Materiały przewodzące

3. Aluminium jest metalem bardzo aktywnym chemicznie a jednocześnie tlenki aluminium są bardzo odporne na działania chemiczne. Bezpośrednio po wytworzeniu wyrobu – na przykład, przewodu, na jego powierzchni powstaje warstwa tlenków, która przez wiele dziesięcioleci chroni przewód przed korozją.

Wady aluminium:

Na styku aluminium z miedzią w obecności wody zachodzi korozja elektrochemiczna. W związku z tym niedopuszczalne jest bezpośrednie połączenie szyn aluminiowych i miedzianych. Takie połączenia wykonują za pomocą końcówek aluminiowych z naprasowanymi lub przyspawanymi podkładkami miedzianymi.

Aluminium stopowe

Obecnie co raz częściej stosowane są przewody z aluminium stopowego, zawierającego 0,44-0,60% Mg oraz 0,44-0,62% Si. Stopy posiadają nieco wyższą rezystywność w porównaniu z czystym Al oraz znacznie wyższą wytrzymałość na rozciąganie.

W przewodach z czystego Al w celu zwiększenia siły zrywającej w środku przewodu umieszczone są linki stalowe, które prawie nie przewodzą prądu.

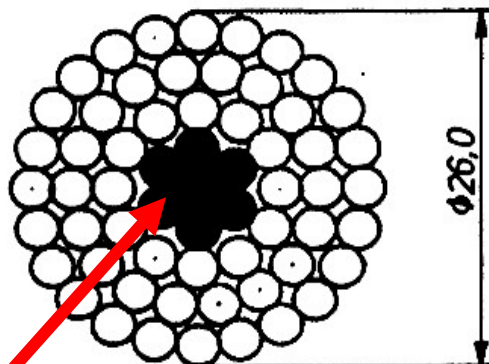
Zastąpienie ich przez linki stopowe powoduje:

- 1) zwiększenie przekroju przewodu, a tym samym obniżenie jego rezystancji.
- 2) zmniejszenie masy (ciężaru) przewodu.
- 3) zwiększenie wytrzymałości na rozciąganie.

Linki
stalowe

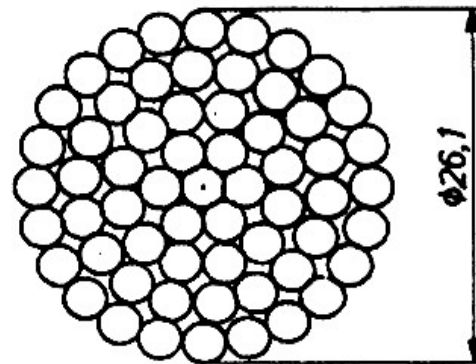
AFL-8

Ilość drutów ($\phi 2,9$) - 54 Al / 7 Fe
Przekrój oblicz. - 356,7 / 45,24 mm²



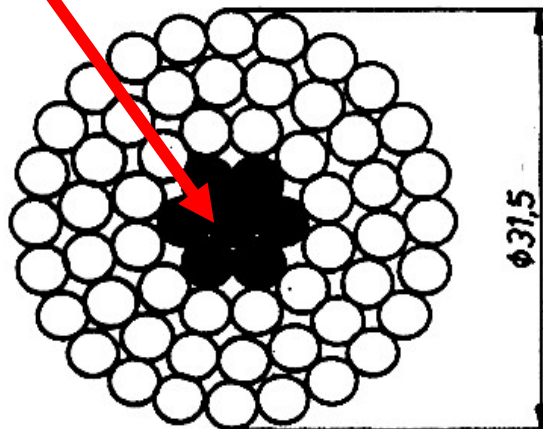
AAL

Ilość drutów ($\phi 2,9$) - 61 Al / MgSi
Przekrój oblicz. - 402,9 mm²



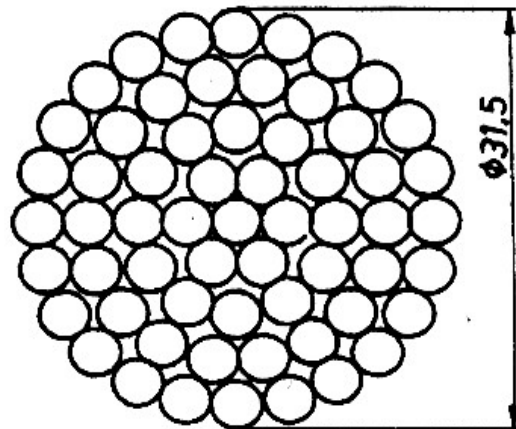
AFL-8

Ilość drutów ($\phi 3,5$) - 54 Al / 7 Fe
Przekrój oblicz. - 519,5 / 67,35 mm²



AAL

Ilość drutów ($\phi 3,5$) - 61 Al / MgSi
Przekrój oblicz. - 586,9 mm²



Materiały przewodzące

Tradycyjny przewód AFL o przekroju nominalnym 350 mm² zawiera 54 żyły z Al oraz 7 z Fe. W przewodzie z aluminium stopowego AAL – 8 61 żył z Al stopowego, co powoduje wzrost przekroju do 400 mm² oraz obniżenie rezystancji z 0,0821 Ω/ km do 0,0785 Ω/ km.

Masa przewodu obniża się z 1352 kg do 1080 kg.

Siła zrywająca wzrasta ze 110 kN do 129 kN.

Podobnie dla przewodów AFL o przekroju nominalnym 525 mm². Jego odpowiednik AAL posiada przekrój 585 mm².

Masy przewodów 1970 kg oraz 1580 kg.

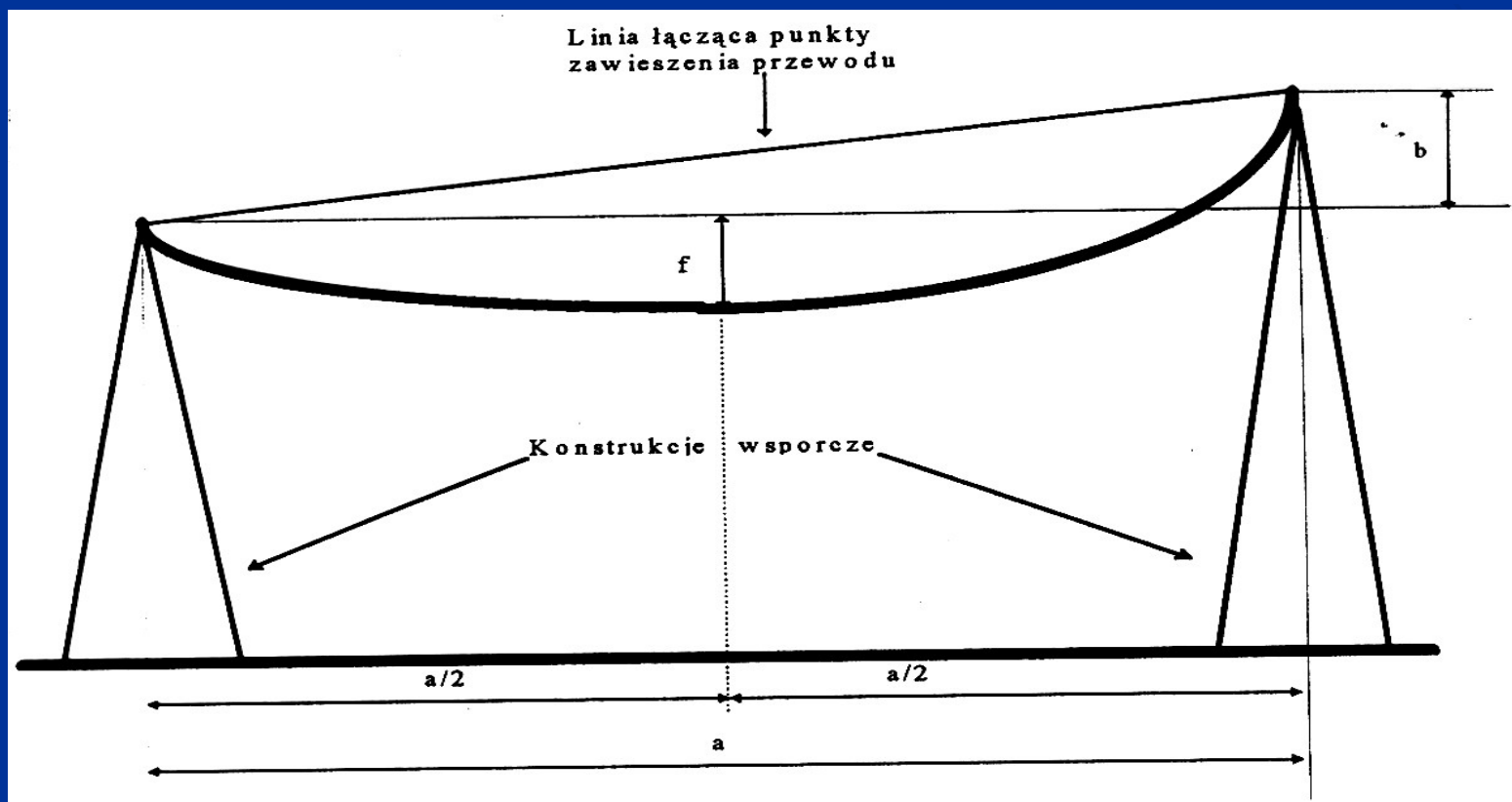
Siły zrywające 158 kN oraz 186 kN.

Rezystancje odpowiednio 0,05644 Ω/ km oraz 0,0533 Ω/ km, co pozwala na obniżenie rezystancji przewodów i zmniejszenie strat o 5,6%

Materiały przewodzące

Zastosowanie w nowo budowanych liniach przewodów stopowych zamiast aluminiowo – stalowych pozwala zwiększyć rozpiętość przęsła a co za tym idzie, zmniejszyć liczbę słupów w linii :

przekrój	AAL	AFL
400 mm ²	337 m	256 m
585 mm ²	299 m	270 m



Materiały przewodzące

Przy modernizacji istniejących linii zastosowanie przewodów z aluminium stopowego, ze względu na mniejszą ich masę i rezystancję w porównaniu z przewodami AFL pozwala zwiększyć przekrój, a tym samym przepustowość linii wysokich napięć.

Biorąc pod uwagę, że masa przewodu obniża się w 1.2518 razy, a rezystancja przewodu – w 1.04586 razy, przepustowość prądowa linii wzrasta w 1.309 razy przy jednoczesnym zwiększeniu siły zrywającej w 1.17 razy, a co za tym idzie – zmniejszeniu awaryjności linii.

3.Ołów

Masa właściwa 11300 kg/m³

1.Temperatura topnienia $T = 600 \text{ K}$

2.Temperatura wrzenia $T = 1833 \text{ K}$

3.Współczynnik przewodzenia ciepła $35,3 \text{ W/m}^{\circ}\text{K}$

4.Współczynnik temperaturowy rozszerzalności $3,13 \cdot 10^{-5} \text{ 1/K}$

5. Wytrzymałość na rozciąganie $1,5 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$

6. Wydłużenie przy zerwaniu 60%

7. Rezystywność $\rho = 208 \cdot 10^{-9} \Omega \cdot \text{m}$

8. Temperaturowy współczynnik rezystancji $\alpha = 0,0040 \text{ 1/K}$

Zastosowanie – akumulatory, spoiwa lutownicze, osłony kabli.

Materiały przewodzące

4. Cyna

Masa właściwa 7300 kg/m^3

1. Temperatura topnienia $T = 504,9 \text{ K}$

2. Temperatura wrzenia $T = 2543 \text{ K}$

3. Wytrzymałość na rozciąganie $(3,4 - 3,9) \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$

4. Rezystywność $\rho = 114 \cdot 10^{-9} \Omega \cdot \text{m}$

5. Temperaturowy współczynnik rezystancji $\alpha = 0,0044 \text{ 1/K}$

Zastosowanie – spoiwa lutownicze.

5. Cynk

Masa właściwa 7140 kg/m^3

1. Temperatura topnienia $T = 692 \text{ K}$

2. Temperatura wrzenia $T = 1179 \text{ K}$

3. Wytrzymałość na rozciąganie $1,4 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$

4. Wydłużenie przy zerwaniu $(50 - 60)\%$

5. Rezystywność $\rho = 60,6 \cdot 10^{-9} \Omega \cdot \text{m}$

6. Temperaturowy współczynnik rezystancji $\alpha = 0,00417 \text{ 1/K}$

Zastosowanie – w stopach oraz jako powłoki ochronne.

Stopy miedzi

Brązy cynowe – stopy miedzi i cyny. Rezystywność wzrasta przy zwiększeniu zawartości cyny. Znacznie twardsze od miedzi.

Mosiądz – stop miedzi i cynku.

Spoiwa

Do łączenia metali stosowane są metale lub stopy o temperaturach topności mniejszych niż łączonych metali.

Spoiwa miękkie – o temperaturze topności poniżej 300C :

Sn (od 3% do 100%) - Pb (od 92% do 0%) – do lutowania miedzi i jej stopów, stali, blachy cynkowej.

Spoiwa twarde – o temperaturze topności powyżej 500C.

Spoiwa miedziowe :

Cu – 96%, Mn - 1%, Si – 3%

Cu - 50%, Zn - 40%, Ni - 8%, Si -2%

Cu – (50 – 70)% Zn –(50 -30)%

Do lutowania miedzi i jej stopów, stali, żeliwa.

$T_{topn} = 850 - 950 \text{ C}$

Materiały przewodzące

Stopy srebrowe:

Ag -70%, Cu -25%, Zn -5%

Ag -45%, Cu -30%, Zn -25%

Lutowanie miedzi i jej stopów. $T_{topn} = 715 - 830\text{ C}$

Stopy cynkowe:

Zn -60%, Sn -40% $T_{topn} = 300\text{C}$

Zn -40%, Sn -60% $T_{topn} = 300\text{C}$

Zn -86%, Al -14% $T_{topn} = 600\text{C}$

Lutowanie aluminium w postaci przewodów, folii i odlewów oraz stopów aluminium.

Materiały przewodzące

Materiały oporowe

Materiały na rezystory pomiarowe – są to stopy miedzi – od 50% do 86% , Mn, Ni i oraz Al lub Fe. Typowe dla tych materiałów – rezystywność około 300 razy wyższa, niż czystej miedzi, a temperaturowy współczynnik rezystywności ok. 20 razy mniejszy, niż dla miedzi. Gwarantuje to wysoką stabilność temperaturową rezystorów pomiarowych.

Materiały na rezystory regulacyjne – są to stopy miedzi, niklu i cynku. Rezystywność i temperaturowy współczynnik są podobne do wartości dla materiałów na rezystory pomiarowe.

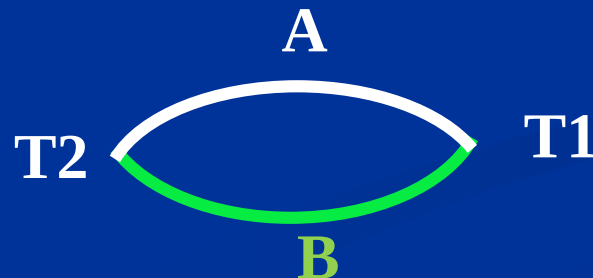
Materiały na rezystory grzewcze – są to przeważnie stopy żelaza z chromem i aluminium. Ich rezystywność około 700 razy wyższa, niż dla czystej miedzi. Temperatury dopuszczalne, w zależności od składu stopu, od 850C do 1350C.

Materiały na ogniwa termoelektryczne (Termopary)

Na styku dwu różnych metali (A oraz B), różniących się pracą wyjścia elektronów z metali do próżni, powstaje kontaktowa różnica potencjałów $\phi(T)$. Wartość tej różnicy potencjałów zależy od temperatury.

Gdy z tych metali stworzymy obwód zamknięty, lewy styk podgrzejemy do T_2 a prawy do T_1 , to w obwodzie powstanie siła elektromotoryczna:

$$E(\Delta T) = f(T_2) - f(T_1) \neq 0$$



Materiały przewodzące

Do budowy termopar najczęściej używane są stopy, rzadziej – metale czyste.

Do precyzyjnych pomiarów wysokich temperatur stosowane są termopary Pt – stop Pt(90%) + Rh(10%) – do 1500C.

**Często stosowane są termopary typu K: stopy
Chromel: Ni(89%) Cr(9,8%) Fe(1%) Mn(0.2%) –
Alumel: Ni(94%) Fe(0.5%) Al(2%) Mn(2.5%) Si(1%).**

Termopara chromel – alumel wytwarza siłę elektromotoryczną około 40 μ V/K. Wartość ta jest słabą funkcją temperatury $E(T)$.

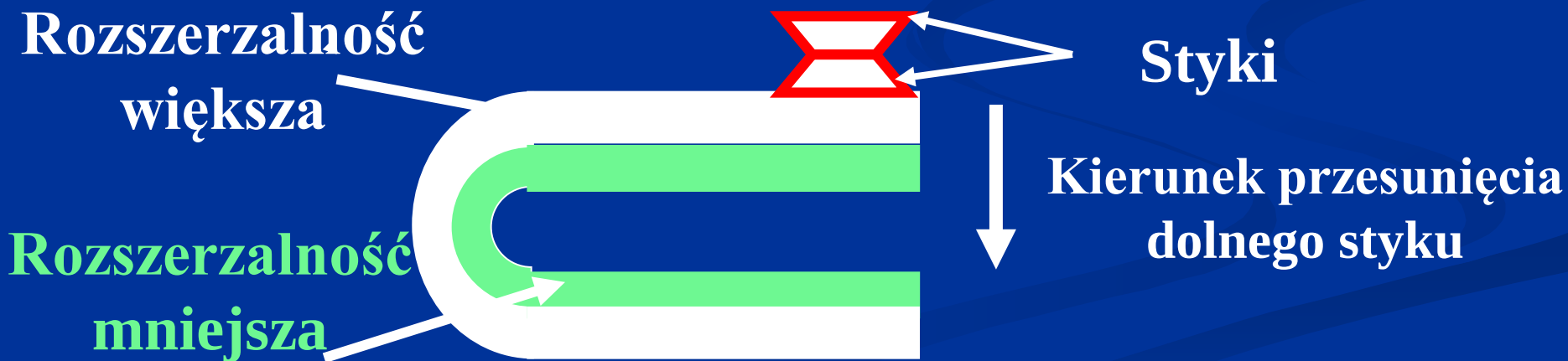
Są również wiele innych rodzajów termopar, przeznaczonych do pomiarów zarówno bardzo niskich, jak i wysokich temperatur.

Materiały przewodzące

Termopara pozwala zmierzyć temperaturę styku gorącego względem temperatury zimnego styku. Nowoczesne cyfrowe mierniki temperatury posiadają możliwość pomiaru temperatury zimnego styku oraz zapisaną w pamięci mikroprocesora zależność $E(T)$ co umożliwia dokładne odczyty temperatur oraz transmisję wyników pomiarów do komputera.

Termobimetale

Termobimetale – materiały dwuwarstwowe, składające się z dwu stopów o różnych współczynnikach rozszerzalności cieplnej. Przy wzroście temperatury zachodzi wygięcie termobimetalu. Zjawisko to stosowane jest do przerywania obwodu przy osiągnięciu określonej temperatury



Materiały przewodzące

Wyzwalacze termiczne stosowane są do ochrony silników elektrycznych przed przeciążeniem, w samoczynnych regulatorach temperatury o niewielkiej dokładności.

Materiały przewodzące

Materiały stykowe

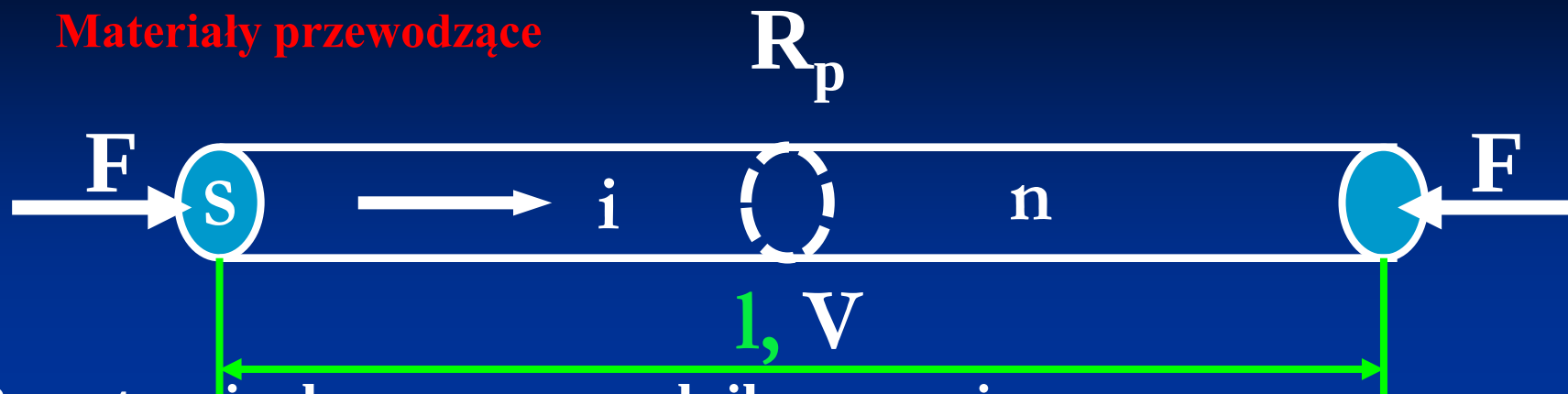
Rodzaje styków:

Są dwa podstawowe rodzaje zestyków:

- a) zestyki rozłączne składają się z dwóch styków, które stykając się powodują przepływ prądu, a po rozsunięciu przerywają jego przepływ.
- b) zestyki ślizgowe służą do przenoszenia prądu do obwodów wirujących (w silnikach elektrycznych) lub poruszających się (trakcje elektryczne).

Zestyki rozłączne:

Materiały przewodzące



Rezystancja danego przewodnika wynosi:

$$R = \rho \frac{l}{S} < R_p$$

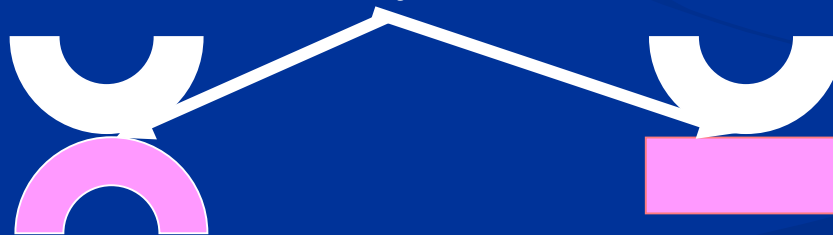
Gdy rozetniemy przewodnik wzdłuż linii przerywanej, a następnie ściśniemy siłą F , jego rezystancja wzrośnie. Dodatkowa rezystancja, powstająca na zestyku, nazywana jest rezystancją przejścia R_p a jej wartość zależy od wielu czynników.

I. Jednym z najistotniejszych czynników jest kształt powierzchni styków

- a) Zestyk powierzchnia kulista – powierzchnia kulista lub płaska.

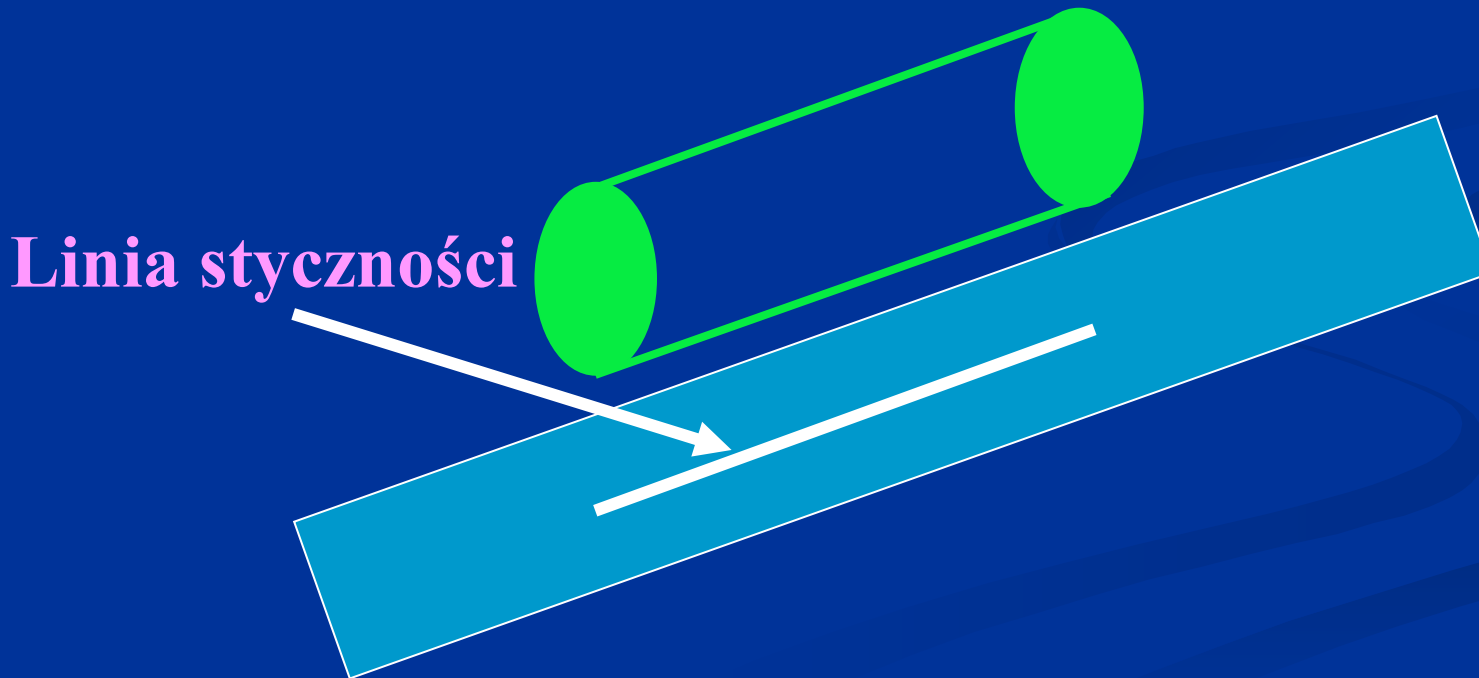
Styczność zachodzi w jednym punkcie. Takie styki nazywane są stykami punktowymi i posiadają stosunkowo wysoką rezystancję przejścia. Stosowane są w obwodach tzw. średnich mocy – do 25 A.

Punkt styczności



Materiały przewodzące

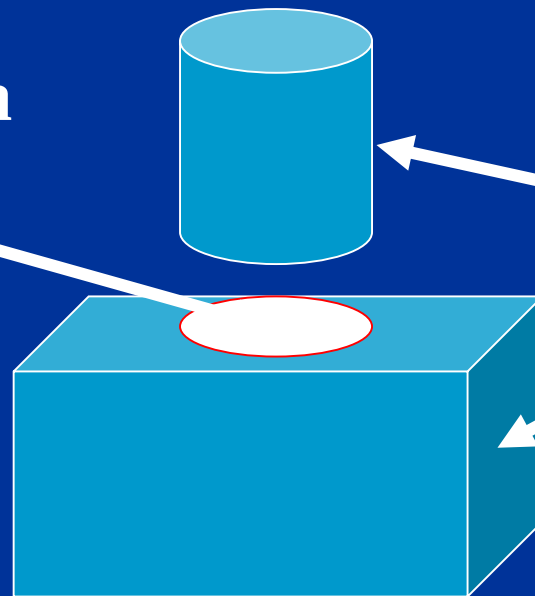
b) Powierzchnia walca – płaszczyzna. Styczność zachodzi wzdłuż linii. Takie styki nazywane są stykami liniowymi.



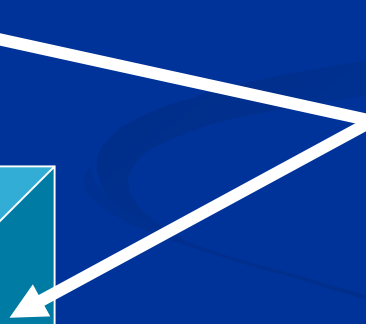
Materiały przewodzące

c) Płaszczyzna z płaszczyzną. Styczność powstaje na granicy stykających się płaszczyzn . Takie styki nazywane są stykami powierzchniowymi.

**Powierzchnia
styczności**

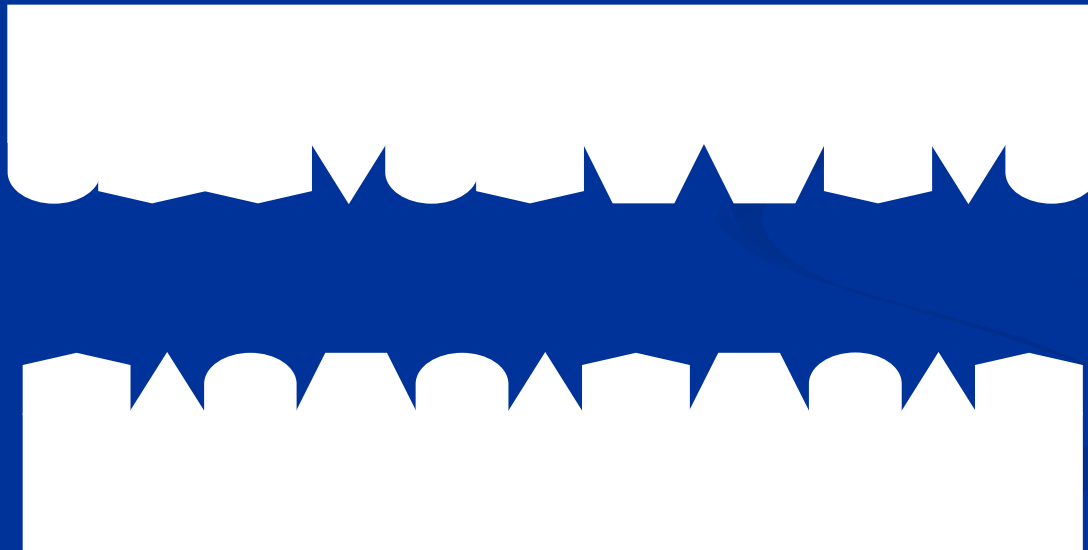


styki

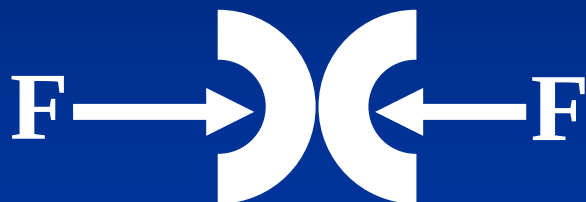


Materiały przewodzące

II. Drugim istotnym czynnikiem jest nierówność (chropowatość) powierzchni, co powoduje że rzeczywista powierzchnia styczności jest o wiele mniejsza, niż powierzchnia geometryczna. Takie zjawisko nazywają rezystancją przewężenia:



III. Kolejnym istotnym czynnikiem jest siła docisku styków:



$$R_p = \left(\frac{C}{F} \right)^\alpha$$

a) Dla styków punktowych przy deformacji sprężystej powierzchni styków (małe siły docisku) $\alpha = 1/3 = 0,33$.

Dla styków punktowych przy deformacji plastycznej powierzchni styków (duże siły docisku) $\alpha = 1/2 = 0,5$.

b) Styki liniowe: $\alpha = 0,7$.

c) Styki płaszczyznowe: $\alpha = 1,0$.

Materialy przewodzące

Wzór na zależność rezystancji przejścia od siły docisku:

$$R_p = \left(\frac{C}{F} \right)^\alpha$$

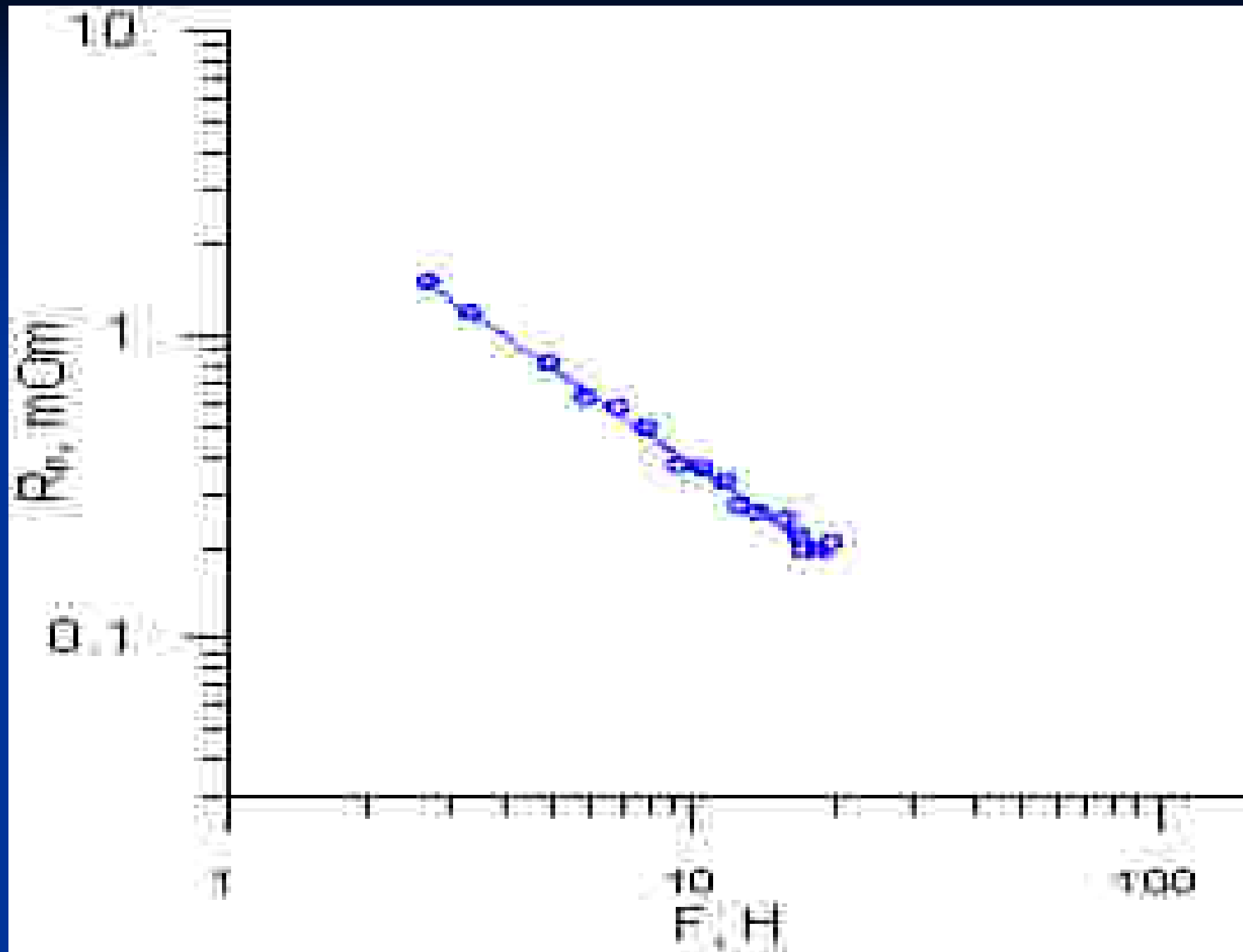
możemy linearyzować (wyrównać) wprowadzając nowe zmienne:

$$X = \log(F), \quad Y = \log(R_p)$$

Otrzymamy wtedy:

$$Y = \log(C) - \alpha \cdot X$$

Na wykresie będziemy mieli malejącą funkcję liniową:



IV. Warstwy nalotowe

Tuż po wytworzeniu styków na ich powierzchni powstaje warstwa tlenków, która dodatkowo zwiększa rezystancję przejścia. Podczas eksploatacji pomiędzy stykami aparatów elektrycznych średniej mocy (natężenie prądu do 25A) powstaje łuk elektryczny o temperaturze do 6000K.

Powoduje to dalsze utlenianie powierzchni, powstawanie na niej związków chemicznych oraz wzrost rezystancji przejścia.

V. Erozja łukowa styków:

Podczas palenia się łuku jego temperatura wzrasta do około 6000 K . W miejscu styczności łuku z powierzchnią styku (tak zwana stopa łuku) temperatura metalu może wzrastać nawet powyżej temperatury jego wrzenia.

Przypomnijmy, że temperatura wrzenia miedzi, jednego z podstawowych materiałów stykowych, wynosi $T = 2868\text{K}$. Powoduje to odparowanie części metalu z powierzchni, pogorszenie jej stanu poprzez powstawanie wżerów, co zmniejsza powierzchnię styczności a tym samym zwiększa rezystancję przejścia.

Rodzaje styków

- **Styki pomiarowe na bardzo małe moce.**
- **Styki telekomunikacyjne na małe moce.**
- **Styki na średnie moce (natężenie prądu od ułamków A do ok. 25A przy napięciu skutecznym 230V lub 400V) w aparatach elektrycznych powszechnego użytku.**
- **Styki na duże moce w urządzeniach energetycznych.**

Materiały na styki rozłączne

Do wytwarzania styków używają czyste metale, stopy oraz spieki - sprasowane przy wysokich temperaturach i ciśnieniach proszki metali trudnotopliwych.

Z czystych metali na styki najlepiej nadają się srebro, złoto, platyna, pallad.

Z metali nieszlachetnych – miedź, wolfram, molibden.

Na miedzi łatwo powstają warstwy nalotowe. W celu zapobiegania powstawaniu tych warstw stosują powłoki galwaniczne ze srebra o grubości ok. 3,5 μm .

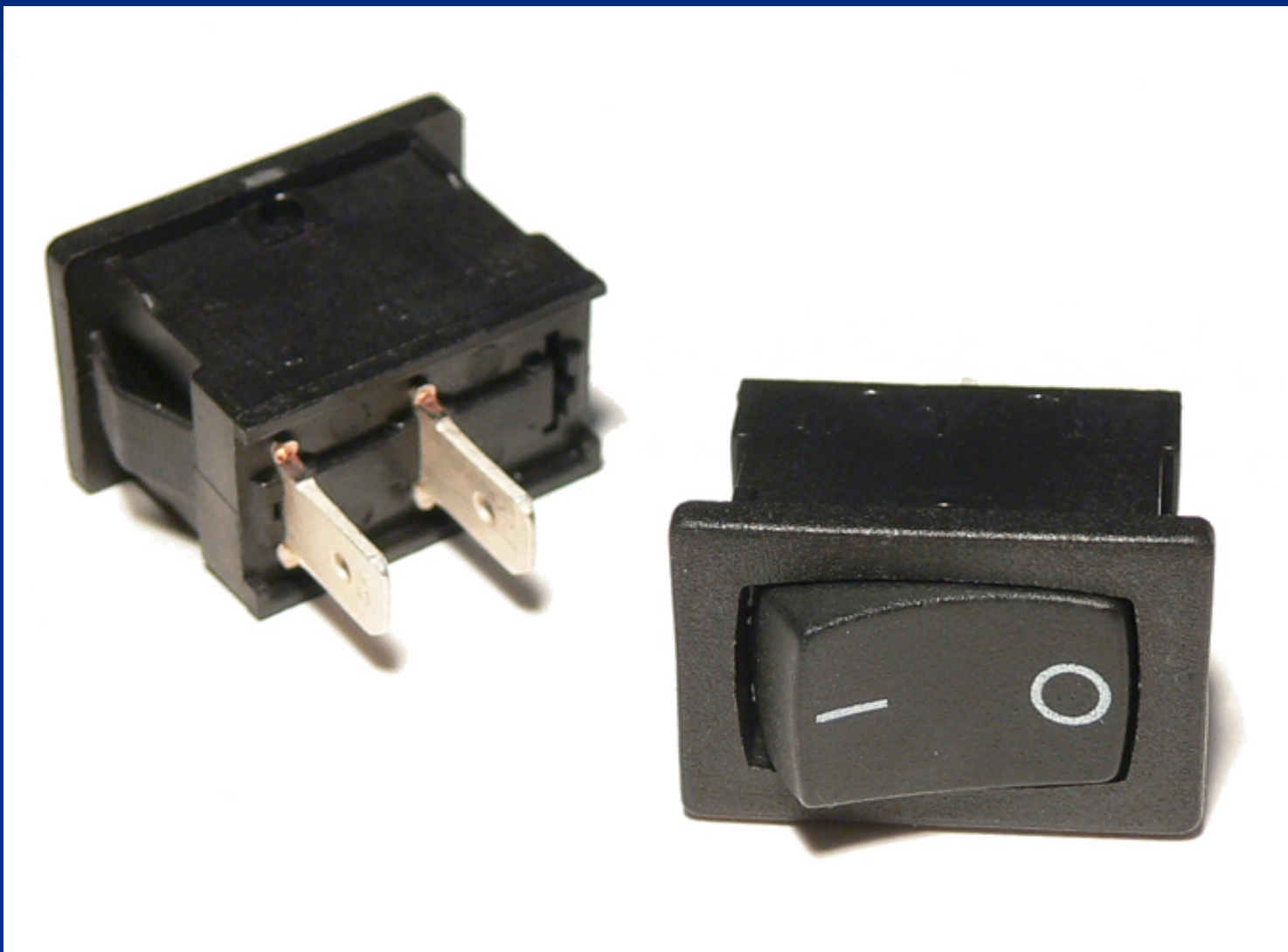
Wolfram i molibden wytrzymują wysokie temperatury ale łatwo utleniają się.

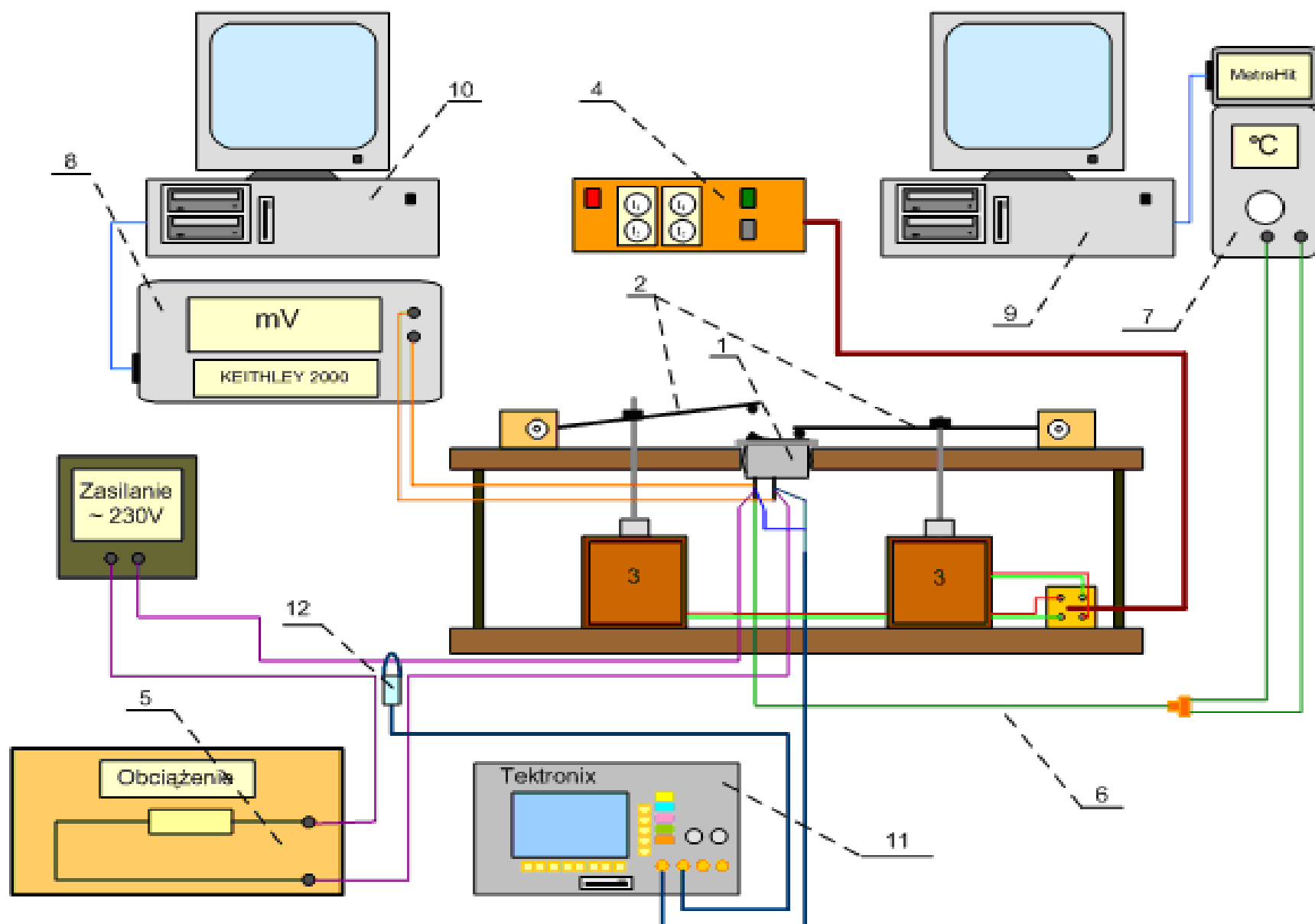
Niezawodność pracy łączników

Według Polskiej Normy, aparaty łączeniowe przeznaczone do pracy niecyklicznej powinny wykonać 10 000 cykli załącz – wyłącz i pozostać sprawnymi.

Aparaty przeznaczone do pracy cyklicznej – przekaźniki i inne powinny, z reguły, wytrzymać co najmniej 100 000 cykli łączeniowych i pozostać sprawnymi .

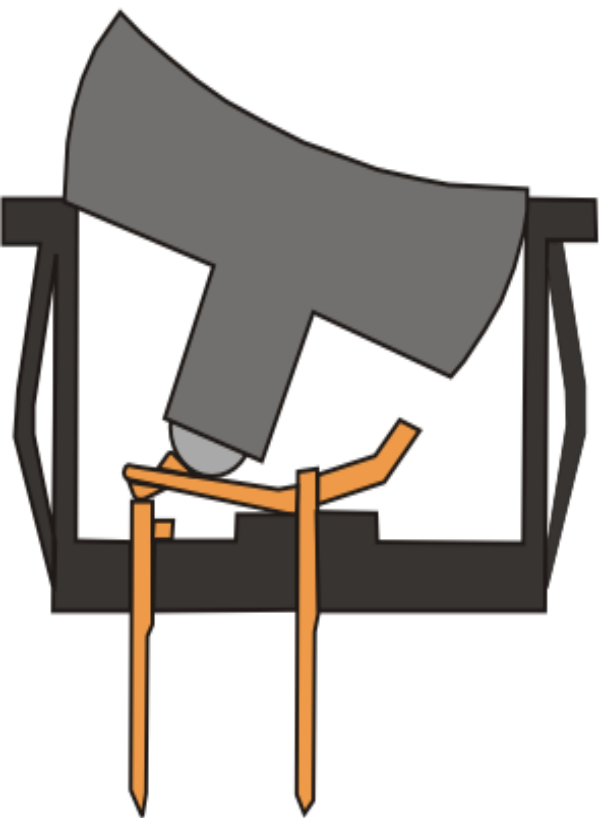
Łączniki powszechnego użytku W-10





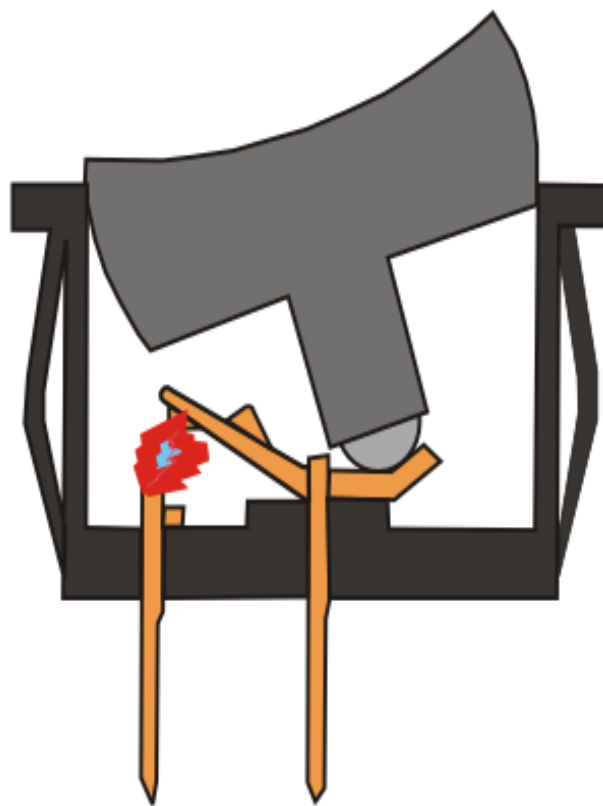
Materialy przewodzące

a)



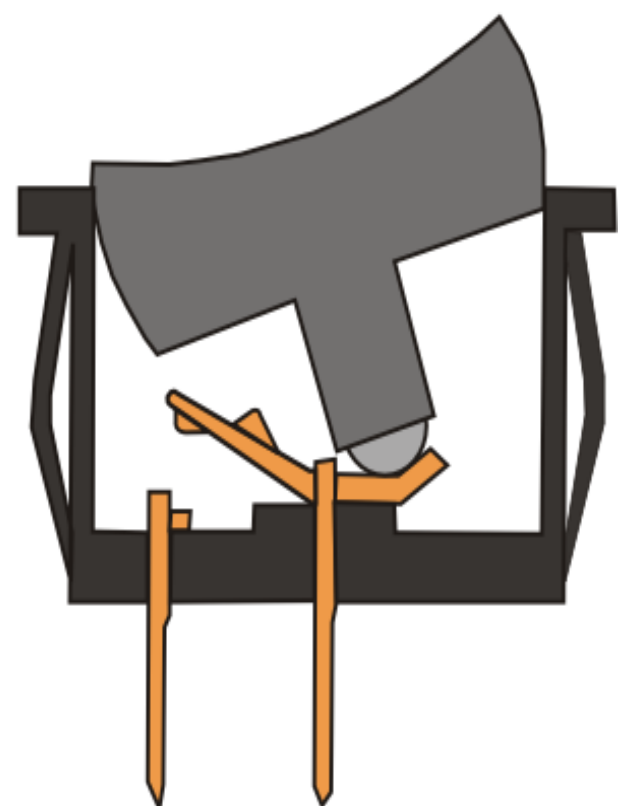
$$t_p, P = IU_c$$

b)

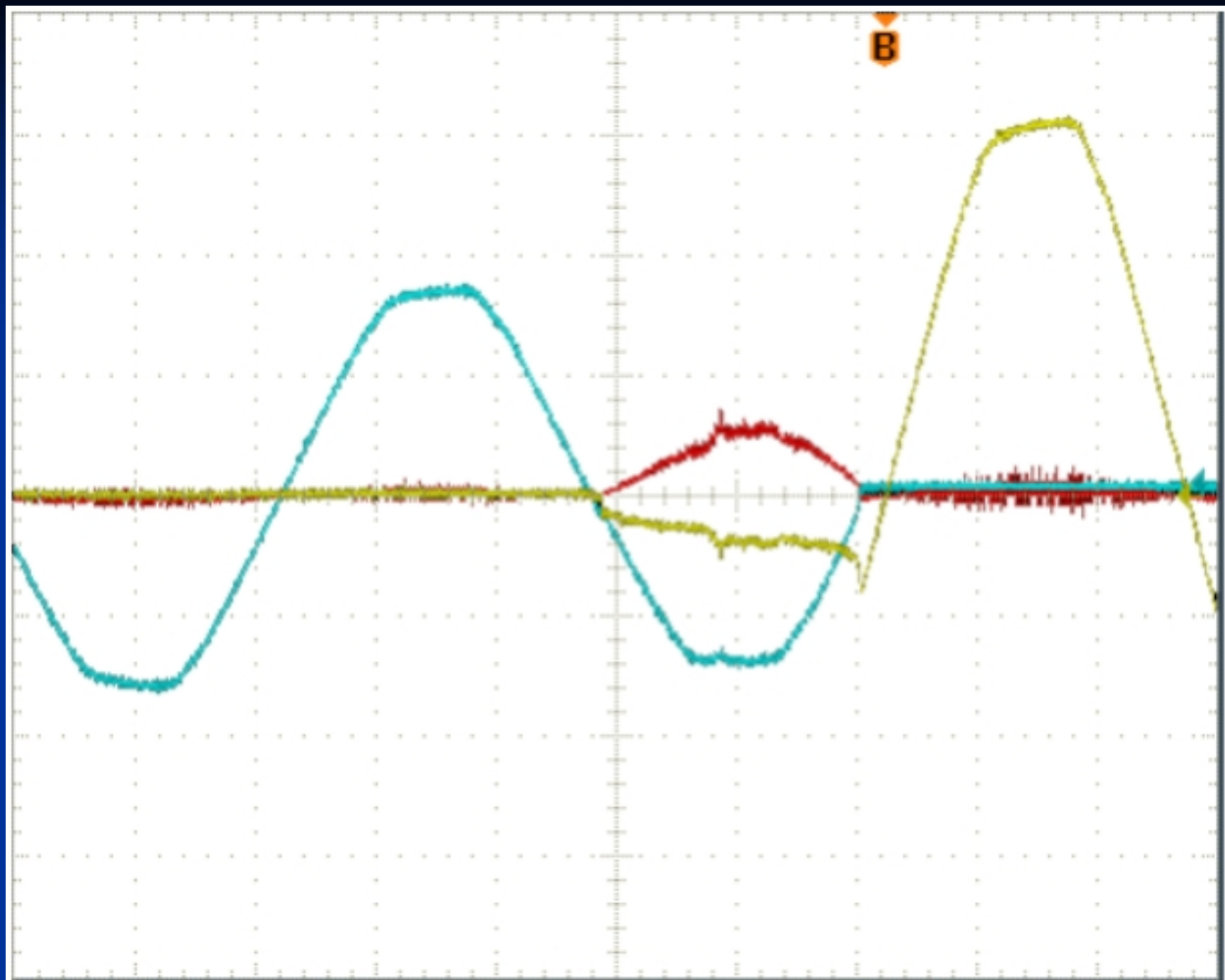


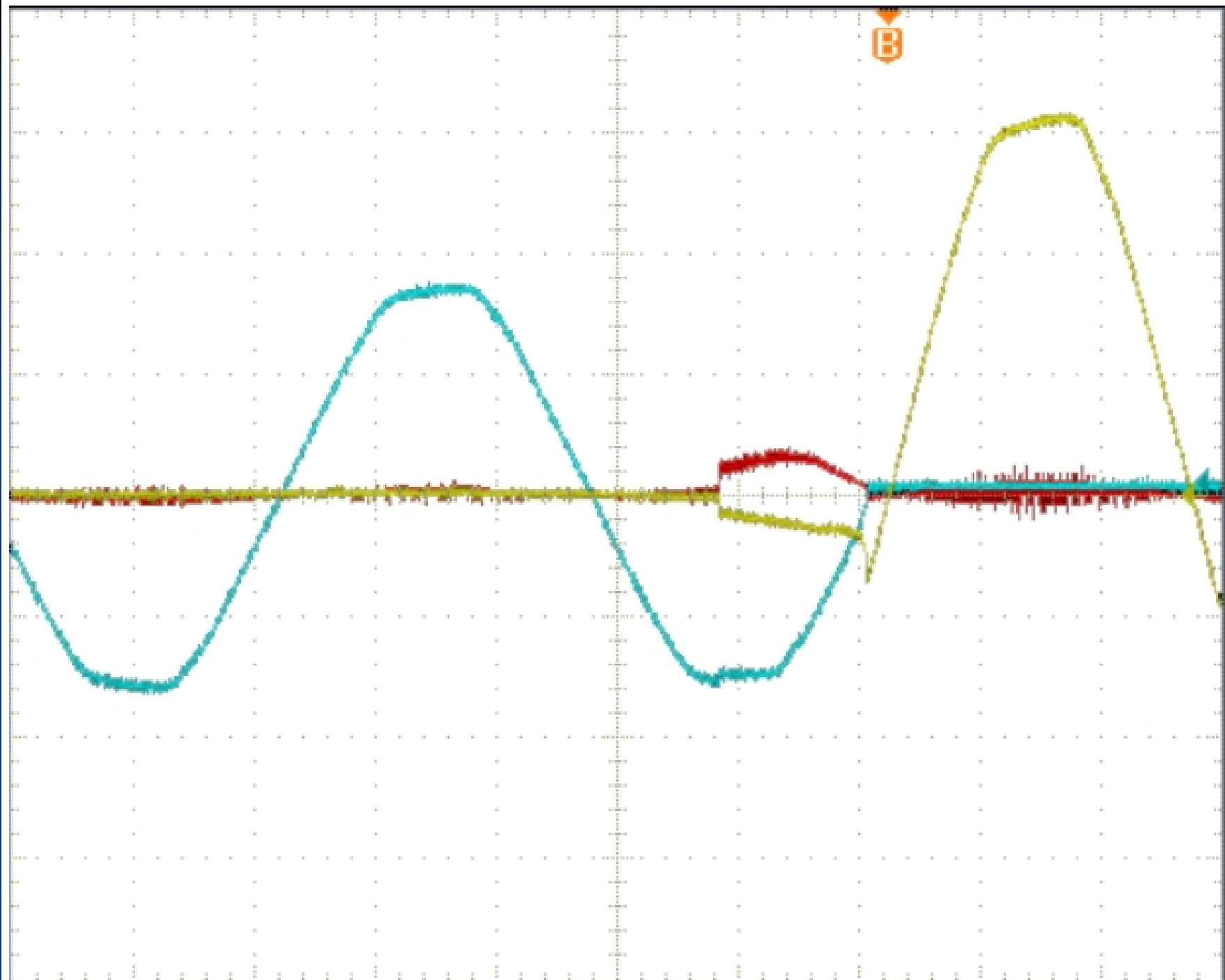
$$W_D$$

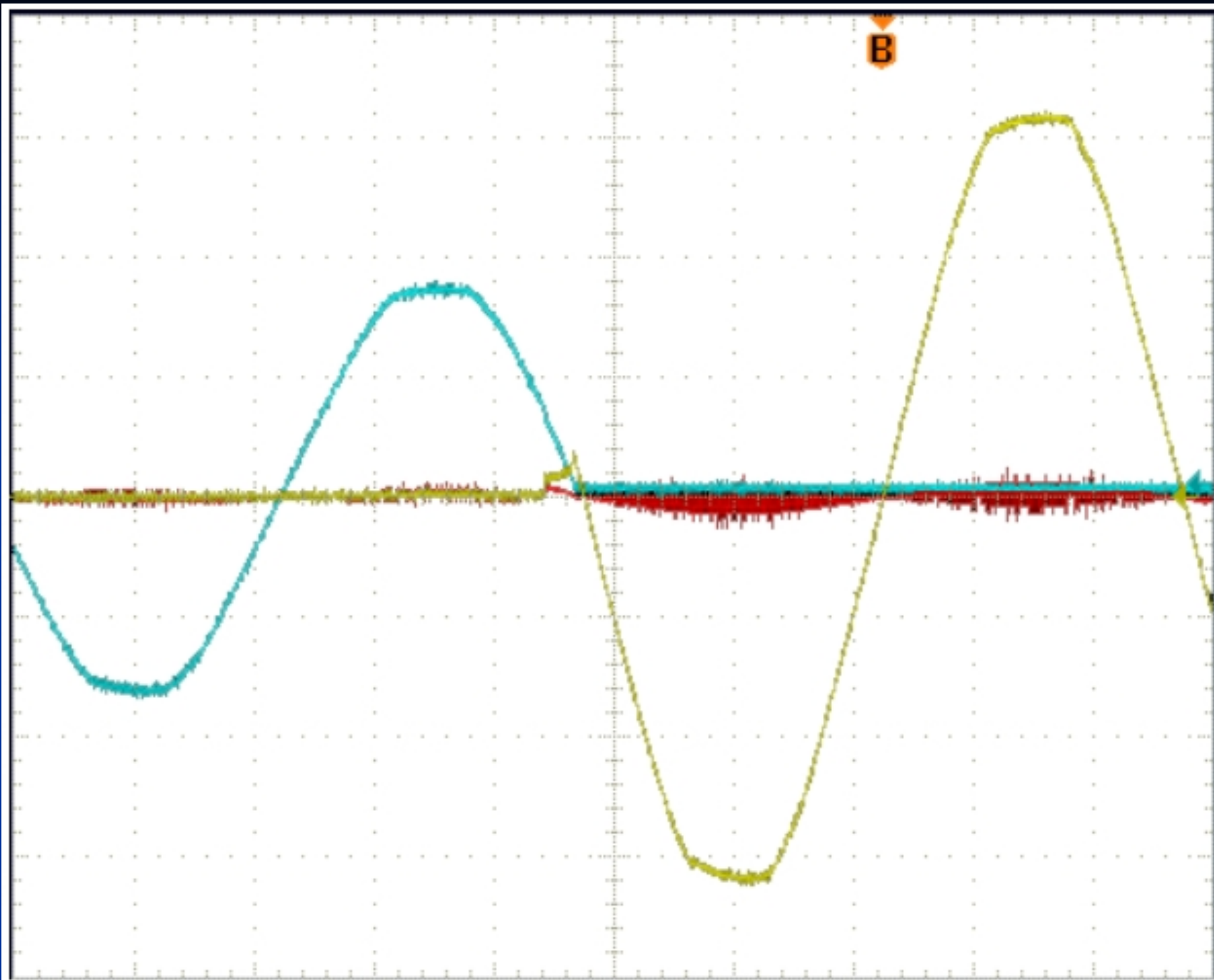
c)

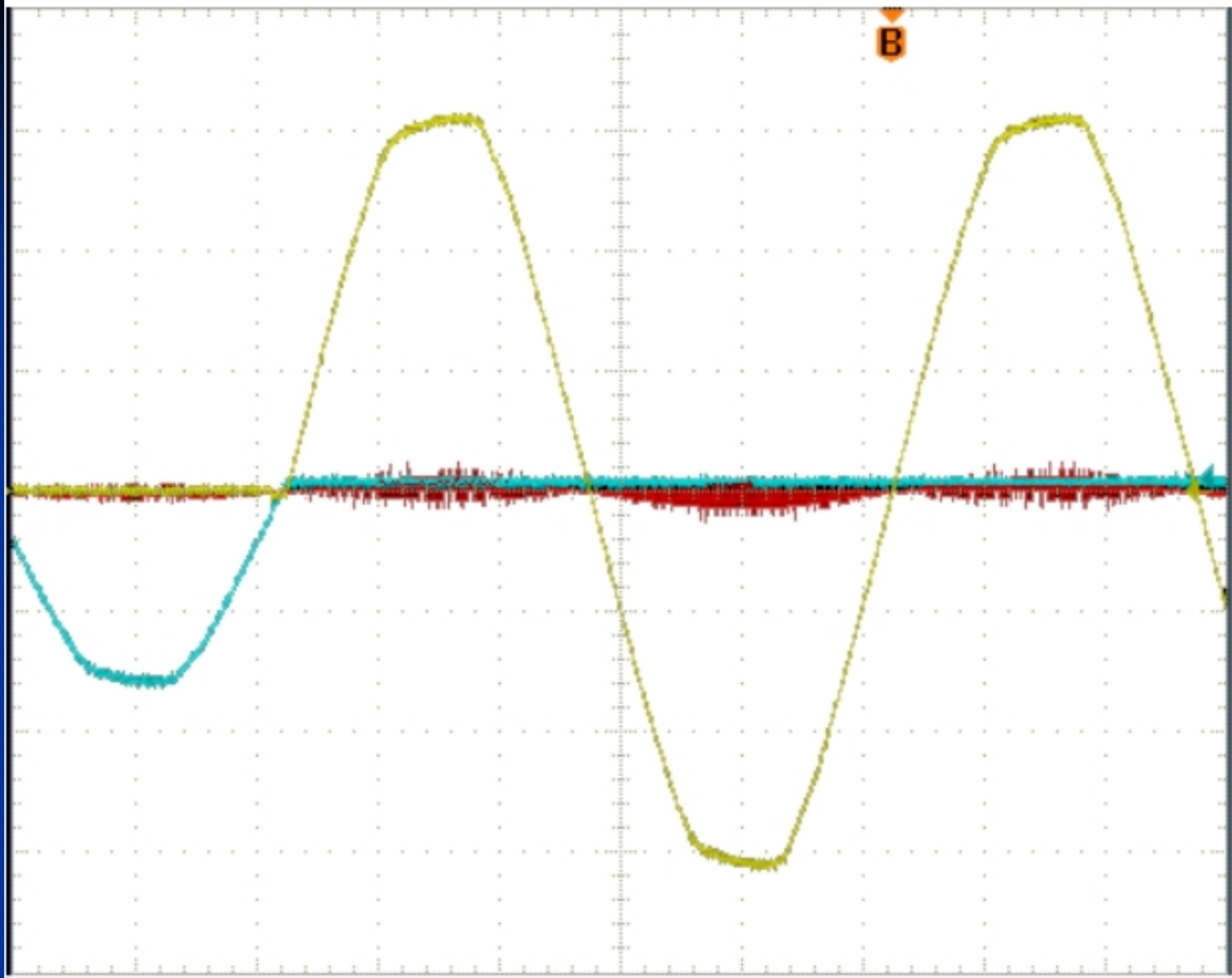


$$t_b, P = 0$$



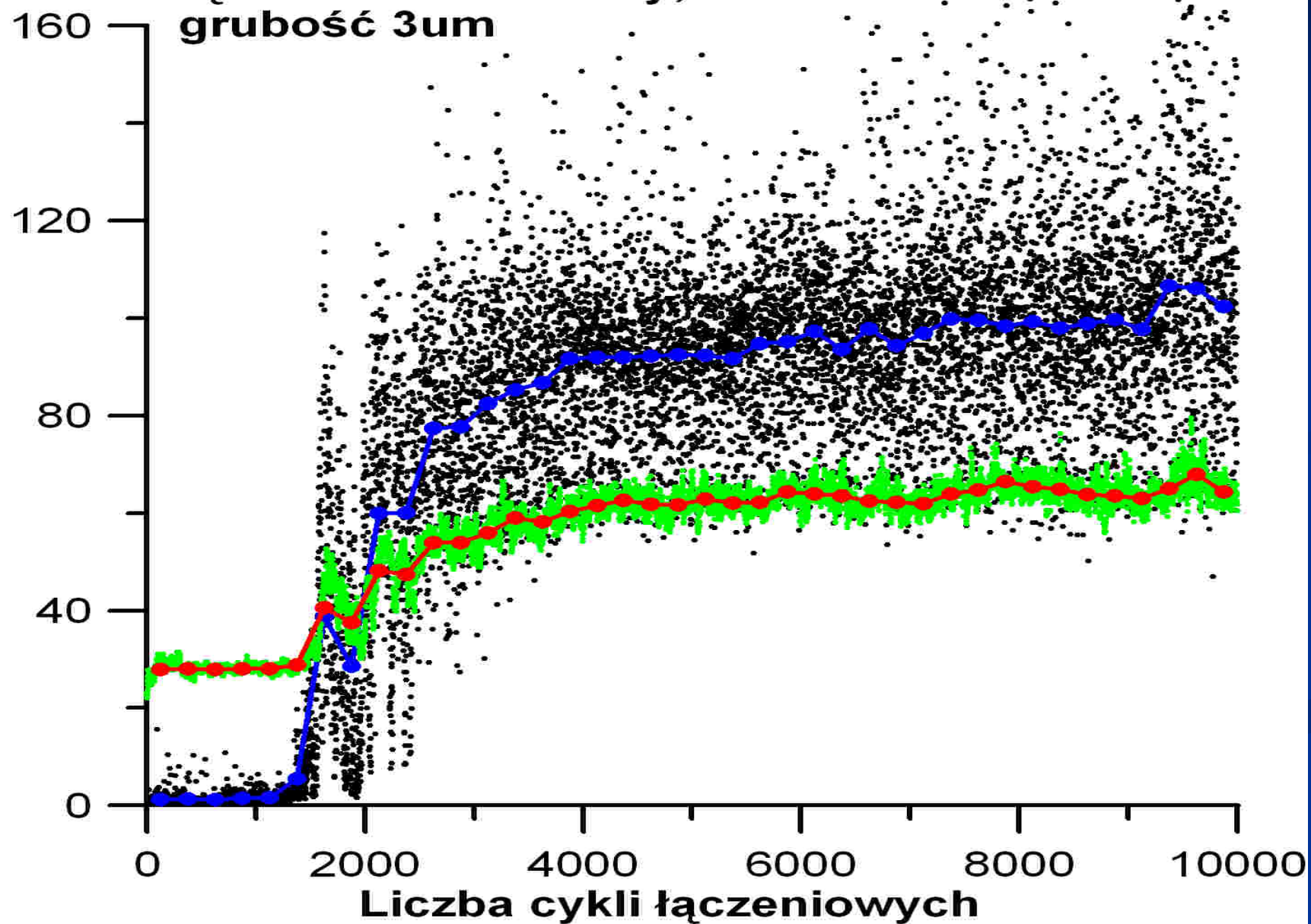






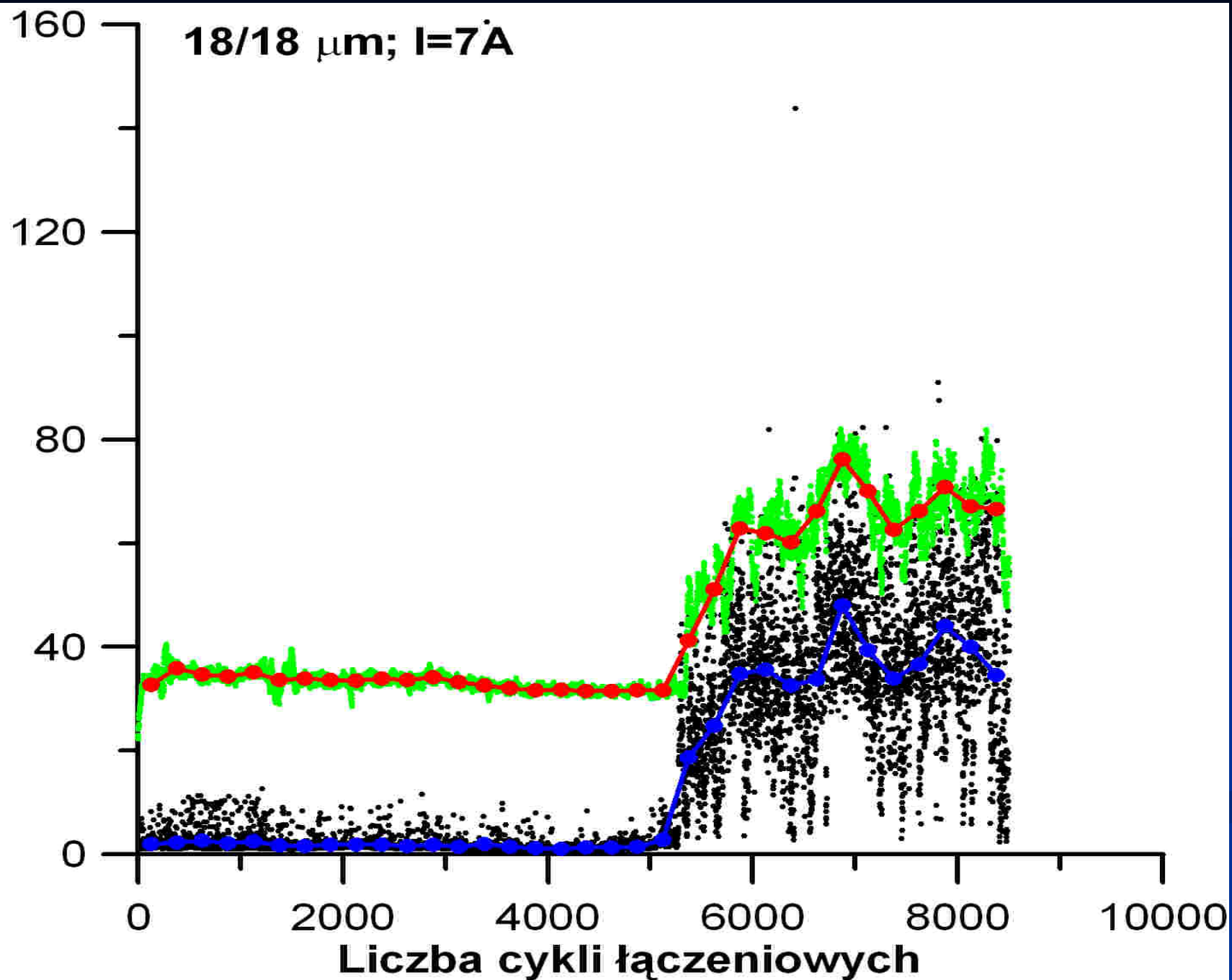
łącznik standardowy; $I=4A$
grubość $3\mu m$

$R_p, m\Omega$; Temperatura, $^{\circ}C$



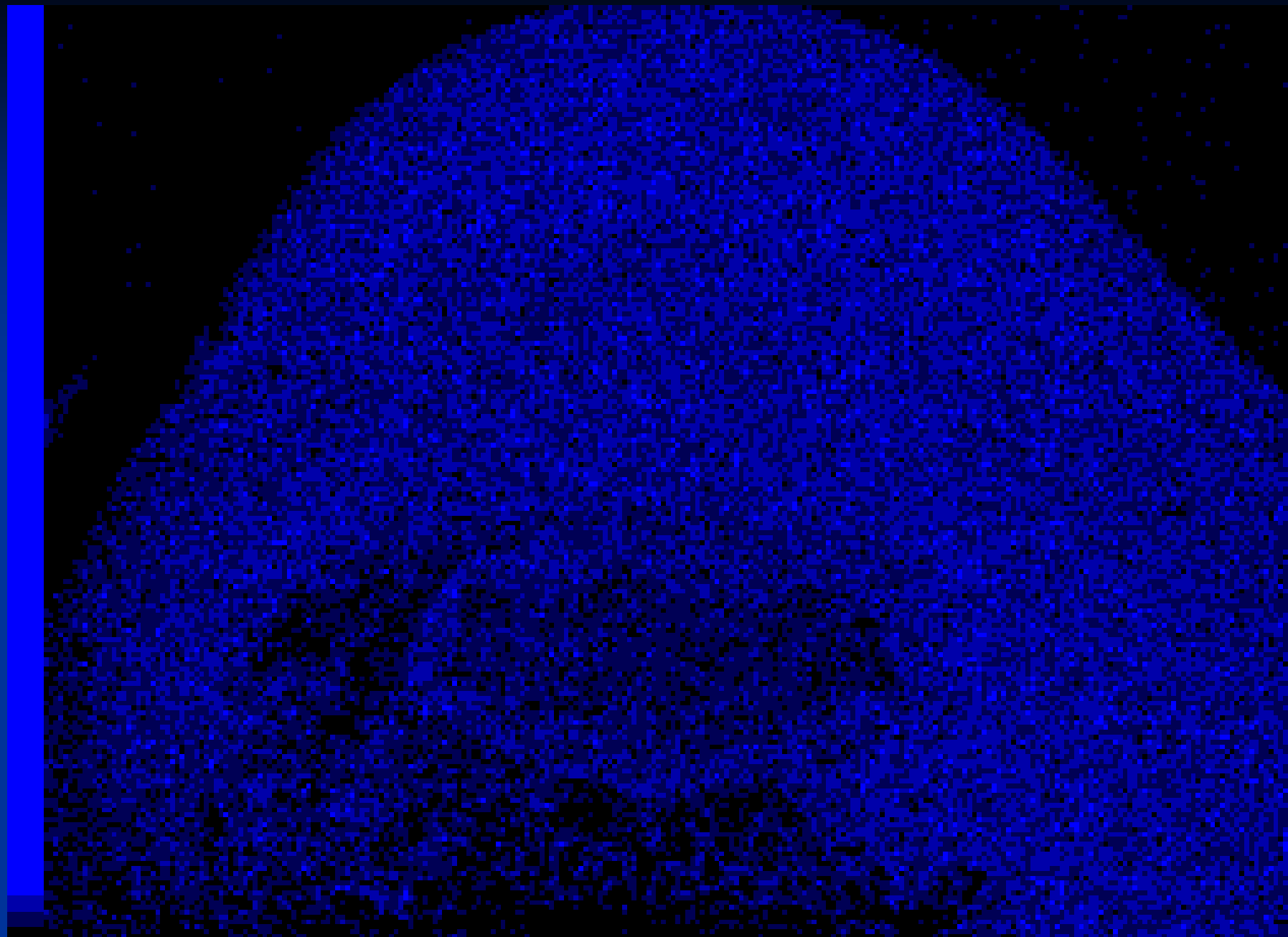
18/18 μm ; $I=7\text{A}$

R_p , $\text{m}\Omega$; Temperatura, $^{\circ}\text{C}$

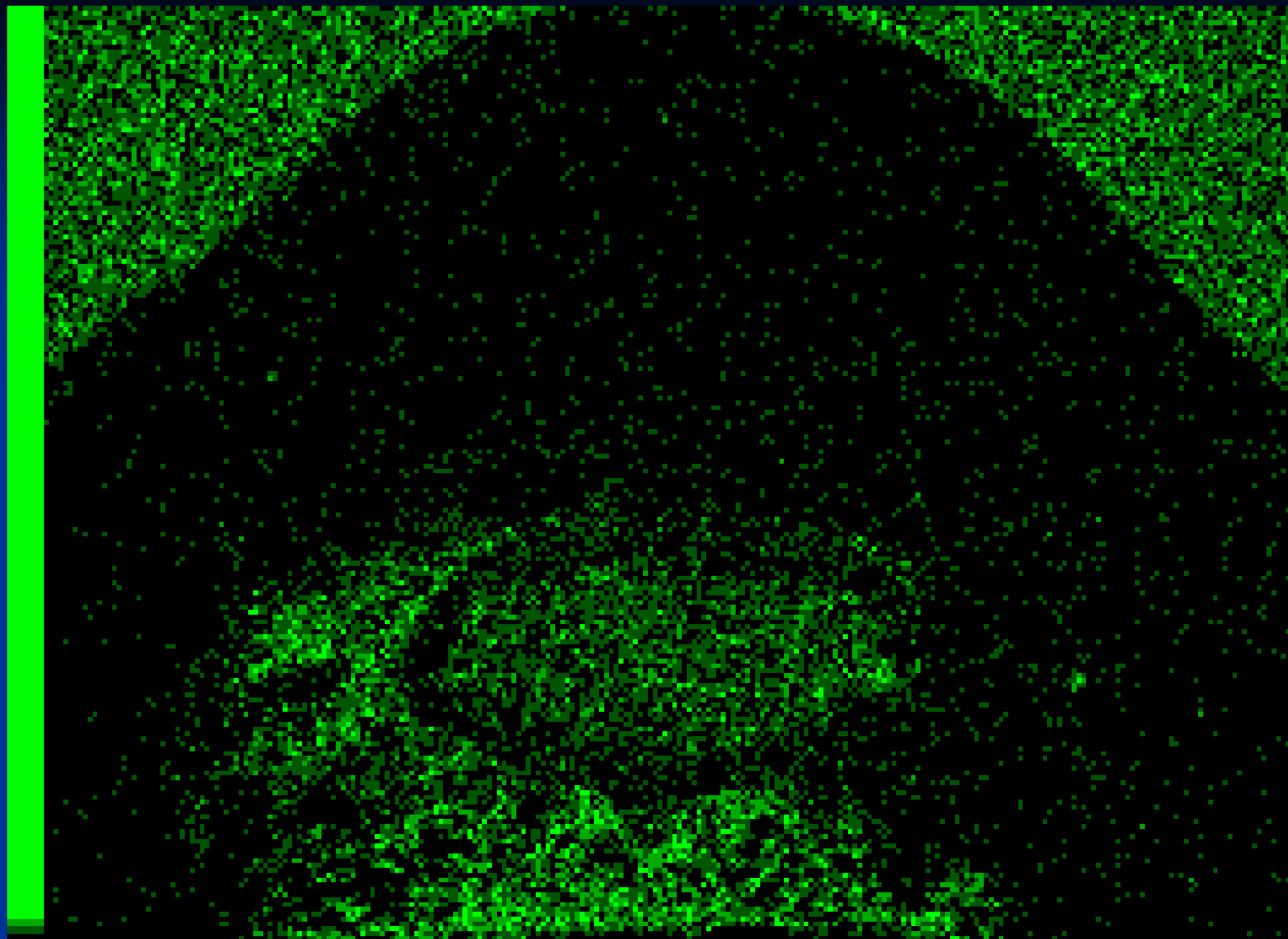




500µm SEI



500 μ m Ag

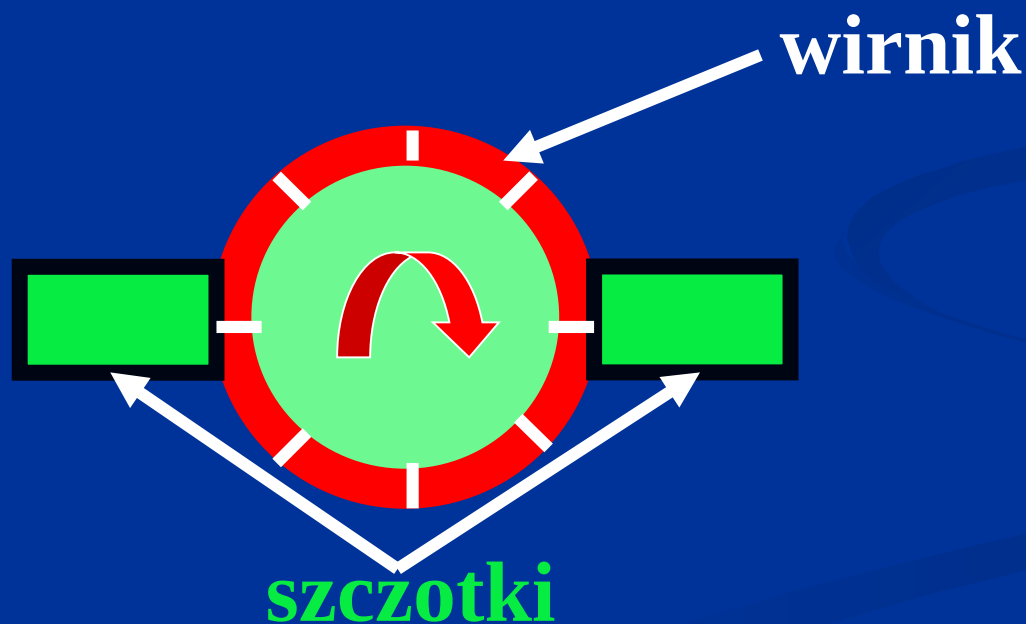


500 μ m Cu

Materiały przewodzące

Materiały na styki ślizgowe

Służą do dostarczenia prądu do odbiorników wirujących (na przykład – wirnik silnika elektrycznego) lub poruszających się (trolejbusy, tramwaje, lokomotywy kolejowe).



Materiały przewodzące

Do wytwarzania szczotek wykorzystują materiały:

Elektro - grafitowe, wytwarzane z grafitu naturalnego i sztucznego, sadzy, koksa.

Metalo - grafitowe – mieszanina metali i grafitu.

Materiały węglowe i węglowo – grafitowe.

Wymagania – niski współczynnik tarcia (grafit stosowany jako suchy smar), duże twardość i wytrzymałość mechaniczna.