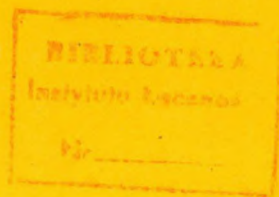


1 9 6 7
Nr 5 (68)

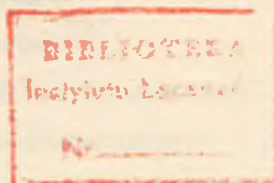
INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI
WARSZAWA — MIEDZESZYN

PRZEGLĄD
ZAGADNIENI
ŁĄCZNOŚCI



MINISTERSTWO ŁĄCZNOŚCI

PRZEGLĄD ZAGADNIEŃ ŁĄCZNOŚCI



ROK 7

WARSZAWA 1967

NR 5(68)

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI

Branżowy Ośrodek

Informacji Naukowo-Technicznej i Ekonomicznej

Kolegium Redakcyjne:

Przewodniczący - prof. Zenon Szpigler
Z-ca Przewodniczącego - mgr inż. Władysław Cetner

Członkowie:

mgr inż. Władysław Adaszewski, inż. Edmund Janowski,
prof. Stefan Jasiński, dr Stanisław Włoszczowski,
mgr inż. Adam Moniuszko, mgr inż. Józef Możejko,
mgr Zofia Życińska,

Sekretarz Redakcji - Irena Kulko

Adres Redakcji:

Instytut Łączności

Branżowy Ośrodek

Informacji Naukowo-Technicznej i Ekonomicznej

Warszawa-Miedzeszyn, ul. Szachowa 1

NA PRAWACH RĘKOPISU - DO UŻYTKU SŁUŻBOWEGO

Redaktor: J. Borkowska

Montaż tekstu: B. Drabik

Dział Wydawniczy Instytutu Łączności
Format B5. Nakład 700. Druk ukończono
w grudniu 1967 r.

PRZEGLĄD
ZAGADNIENÍ ŁĄCZNOŚCI

Zestyki teletechniczne

SPIS TREŚCI

	Str.
1. Praktyczny poradnik stosowania elementów stykowych - Tłumaczył C. Niewiadomski	1
2. Wpływ środowiska otoczenia na zestyki słaboprądowe - Tłumaczył C. Niewiadomski	54

PRAKTYCZNY PORADNIK STOSOWANIA
ELEMENTÓW STYKOWYCH

Tłumaczył C. Niewiadomski na podstawie
artykułu : Pommerening U.A.: A practical
guide to contact applications. NARM
Relay Symposium Papers, 1961, s. 21-26.

1. WSTĘP

W niniejszym opracowaniu ograniczono się do tzw. zestyków telefonicznych, czyli zestyków pracujących przy obciążeniach istniejących w centralach telefonicznych albo też użytych w innych przekaźnikach o konstrukcji stosowanej w telefonicznych urządzeniach komutacyjnych. Przekazniki telefoniczne używane są bowiem coraz bardziej również w urządzeniach przemysłowych (na przykład w obwodach kontrolnych, alarmowych i sygnałowych), jakkolwiek różnią się one w nich nieznacznie pod względem elementów stykowych od rzeczywistych przekaźników telefonicznych.

Ponieważ zachowanie się elementu stykowego zależy od wielu różnych czynników, nie ma dotąd generalnej zasady konstrukcji lub doboru elementów stykowych i ich materiałów. W związku z tym celem niniejszej pracy jest zaznajomienie z zagadnieniami występującymi przy konstruowaniu zestyków telefonicznych oraz przy doborze materiału stykowego. Zaleceń podanych w tej pracy nie należy

jednak uważać za ostateczne, a teorię w niej omawianą podano tylko w zakresie niezbędnym do zrozumienia zagadnienia.

2. WPROWADZENIE

W pracy rozpatrzono trzy główne zjawiska stwarzające możliwość uszkodzenia elementów stykowych, a mianowicie korozję, erozję i nadmierny opór zestyku. Na początku pracy podano krótkie omówienie podstaw teorii zestyków w celu zaznajomienia z niektórymi określeniami z tej dziedziny, przy czym zainteresowanym w bardziej szczegółowych wiadomościach zaleca się książkę R. Holma pt. "Electric Contacts Handbook". Natomiast rozdział zajmujący się erozją elementów stykowych będzie omawiać zagadnienia mostków metalicznych, luków, wyładowań świetlnych i aktywacji spowodowanej zanieczyszczeniami, a także inne zjawiska dotyczące elementów stykowych i ich ochronę. Omawianie nadmiernego oporu zestyków związane z zagadnieniem tzw. mikrozestyków.

W pracy zestawiono stosowane zwykle materiały stykowe oraz podano ich własności i obciążenia. Ponadto w pracy podano zestawienie czynników wpływających na konstrukcję zestyków oraz przedstawiono na dwóch przykładach konstrukcji elementów stykowych, w jaki sposób należy korzystać w poszczególnych przypadkach z danych zamieszczonych w pracy.

3. PODSTAWY TEORII ZESTYKÓW

Uwagi ogólne

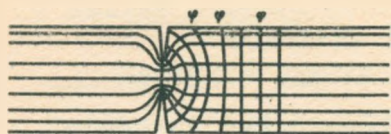
Zestyki elektryczne dzieli się zwykle na trzy grupy, zależnie od rodzaju połączenia:

1. Zestyki stałe - połączone trwale przez śruby, sworznie, zaciski itp.
2. Zestyki rozłączne dotykowe, zamykające i otwierające obwody ruchem podnoszącym.
3. Zestyki ślizgowe, zamykające i otwierające obwody ruchem obrotowym.

Zestyki dotykowe i ślizgowe mogą pracować bez obciążenia i pod obciążeniem w momencie zamykania lub otwierania obwodu. Po pewnym czasie, z różnych powodów, zestyki mogą stać się zawodne pod względem prawidłowości działania, a głównymi przyczynami ich niesprawności są korozja, erozja oraz nadmierny opór zestyku.

Opór zagęszczenia

Przyjmijmy najpierw, że styk istnieje tylko w jednym punkcie oraz że tworzą go dwa takie same materiały stykowe, idealnie czyste. W takim przypadku wielkość oporu zestyku nie wynika z powierzchni styku materiałów stykowych, lecz z miejscowego zagęszczenia linii pola sił, wobec czego opór ten nazywa się właśnie oporem zagęszczenia.



Rys. 1. Zagęszczenie linii sił w miejscu styku

Jak widać z rysunku, gęstość prądu w miejscu styku jest większa niż w pozostałym materiale stykowym i skupiona wokół samego miejsca styku. Krzywe ψ na rysunku są to krzywe ekwipotencjalne.

Opór zagęszczenia określa się, przyjmując, że styk ma kształt koła o promieniu a (tzw. styk typu a). W rzeczywistości styki nie są okrągłe, wobec czego należy stosować wzory przeliczeniowe, za pomocą których powierzchnię nie okrągłego styku przelicza się na równoważną jejmu powierzchnię styku okrągłego o promieniu a .

Opór zagęszczenia jednego elementu stykowego wynosi

$$R_z = \frac{\rho}{4a} ,$$

przy czym ρ jest to oporność elektryczna właściwa materiału stykowego.

Wobec powyższego całkowity opór zagęszczenia wynosi

$$R_z = \frac{\rho_1 + \rho_2}{4a} ,$$

przy czym ρ_1 i ρ_2 są to, odpowiednio, oporności elektryczne właściwe materiałów współpracujących elementów stykowych.

W rzeczywistości zestyki mają więcej niż jeden styk typu a .

Nacisk stykowy

Wielkość promienia a zależy przede wszystkim od nierówności powierzchni elementu stykowego oraz w dużej mierze od modułu elastyczności E materiału stykowego. W przypadku skrzyżowanych prętów jednakowej średnicy d

$$a = 1,1 \sqrt[3]{\frac{P}{E} \frac{d}{2}},$$

przy czym P jest to zastosowany nacisk stykowy.

Jeżeli odkształcenie jest w zasadzie elastyczne, całkowitą powierzchnię styku A można określić z twardości materiału H , stosując zależność

$$A = \frac{P}{H} = \pi a^2$$

Ostatnie dwie zależności podano tylko w celu przedstawienia wpływu różnych czynników na styk.

Temperatura elementu stykowego

Wskutek oporu zagęszczenia wytwarza się w elemencie stykowym ciepło w ilości $I^2 R_z$, przy czym między temperaturą materiału stykowego ϑ i potencjałem φ występuje poniższa zależność

$$\int_{\vartheta}^{\theta} \rho k d\sigma = \frac{1}{2} \rho^2,$$

w której

ρ - oporność elektryczna właściwa materiału stykowego,

k - przewodnictwo cieplne materiału stykowego,

θ - temperatura w miejscu samego styku.

Dla zestyków metalicznych słuszną jest poza tym zależność

$$U^2 = 4 L (T_{\theta}^2 - T_0^2),$$

w której

U - napięcie między elementami stykowymi,

$L = 2,4 \cdot 10^{-8} \text{ (V/stopnie)}^2$, stała Lorenza, niezależna od rodzaju materiału stykowego i temperatury,

T_{θ} - temperatura w miejscu samego styku, $^{\circ}\text{K}$,

T_0 - temperatura materiału stykowego poza obszarem wpływu oporu zagęszczenia, $^{\circ}\text{K}$.

Jeżeli napięcie wynosi 0,5 V, a temperatura pokojowa wynosi 27°C , wówczas $T_0 = 27 + 273 = 300^{\circ}\text{K}$, a

$$T_{\theta} = \sqrt{\frac{U^2}{4L} + T_0^2} = 1640^{\circ}\text{K} = 1367^{\circ}\text{C},$$

co przedstawia przykładowo temperaturę, która może wytworzyć się w miejscu samego styku.

Ponieważ temperatura topnienia srebra wynosi 1063°C , a platyny 1773°C , wynika z tego, że w powyższych warunkach srebro, w przeciwieństwie do platyny, będzie topić się w miejscach styku.

Warstewki na elementach stykowych

W rzeczywistości na powierzchni każdego elementu stykowego znajduje się zawsze pewna warstewka. Warstewkę tę stanowią tlenki, siarczki, chlorki i inne związki chemiczne, które w czasie od kilku sekund do kilku minut osiągają na materiale stykowym grubość 10 - 30 Å, zwiększającą się następnie powoli do kilku setek Å.

Warstewki o grubości mniejszej niż 30 Å mogą przewodzić prąd dzięki zjawisku tunelowemu, które umożliwia przepływ elektronów pomimo działania zaporowego warstewek, stanowiących między elementami stykowymi jakby barierę o pewnym potencjale. Wielkość oporności tunelowej właściwej δ zależy od napięcia przyłożonego do zestyków oraz grubości warstewki na elementach stykowych.

Opór tunelowy R_t wyraża się zależnością

$$R_t = \frac{\delta}{\pi a^2},$$

a opór przejścia zestyku sumą oporów

$$R = R_z + R_t$$

Aby był możliwy przepływ prądu przez elementy stykowe z grubą warstewką, warstewka ta musi być przebita. Przebicie warstewki można uzyskać sposobem mechanicznym, przez duży nacisk stykowy, lub sposobem elektrycznym za pomocą pola elektrycznego o napięciu ponad 10^6 V/cm. Przebijanie przez przepuszczanie prądu o zwiększonym napięciu nazywa się omywaniem zestyków, które służy do u-

zyskania przepływu prądu poprzez czyste powierzchnie metaliczne.

4. KOROZJA ZESTYKÓW

Zależnie od rodzaju materiału stykowego i warunków otoczenia może nastąpić albo jego utlenienie, albo też wytworzenie się na nim innych związków chemicznych. W wyniku tego następuje zmniejszenie powierzchni stykowej lub wytwarzanie się produktów korozji między elementami stykowymi, co z kolei powoduje wadliwe funkcjonowanie zestyku wskutek przegrzania powierzchni stykowej lub wskutek nadmiernego oporu zestyku.

Szczególnie są narażone na korozję silnie obciążone elektrycznie zestyki stałe i zestyki zminiaturyzowane. W przypadku silnie obciążonych zestyków stałych można je zabezpieczać przed korozją za pomocą farb lub smarów przeciwkorozyjnych, a w przypadku innych zestyków - za pomocą doboru właściwego materiału stykowego.

5. EROZJA ZESTYKÓW

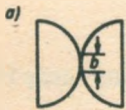
Erozją nazywa się uszkodzenie powierzchni elementu stykowego spowodowane innymi czynnikami niż korozja. Wiadomo mianowicie powszechnie, że zestyki otwierające i zamykające obwody, przez które płynie prąd, wykazują po pewnym czasie uszkodzenie powierzchni stykowej, która staje się chropowata oraz charakteryzuje się naroślami, kraterami albo stratami materiału. Erozja ta może być wynikiem zmian powierzchni spowodowanych czynnikami

mechanicznymi albo elektrycznymi, względnie jednocześnie obydwoma, przy czym erozja spowodowana czynnikami elektrycznymi może być wynikiem różnych zjawisk.

5.1. Erozja przy otwieraniu obwodu

Powierzchnia stykowa i mostek

Najprostszym sposobem zrozumienia erozji elektrycznej elementów stykowych jest zbadanie zjawisk przebiegających podczas otwierania obwodu przez zestyki przy przepływie przez nie prądu stałego.



Rys. 2. Powierzchnia stykowa pozorna i rzeczywista

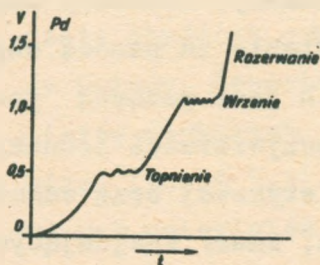
Rys. 3. Wygląd elementów stykowych podczas otwierania obwodu

Rysunek 2a przedstawia zestyk zwarty. Elementy stykowe tego zestyku są dociśnięte do siebie za pomocą odpowiedniego nacisku, a powierzchnia b jest pozorną powierzchnią przewodzącą prąd. W rzeczywistości jednak, wskutek chropowatości powierzchni stykowej oraz wskutek warstewek lub zanieczyszczeń (kurz, smar) znajdujących się na elementach stykowych, styk na powierzchni istnieje tylko w małych obszarach "a", jak na rys. 2b, w wyniku czego zestyk wykazuje pewien opór wynikający z oporu zagęszczenia i oporu warstewek na elementach stykowych.

Gdy rozpoczyna się otwieranie obwodu, powierzchnia, przez którą przepływa prąd, maleje, a opór zestyku wzra-

sta. Powierzchnia stykowa zaczyna się wtedy nagrzewać ciepłem Joule'a, ponieważ zaś natężenie prądu praktycznie nie zmienia się, materiał stykowy topi się. Stopiony materiał tworzy mostek między rozłączonymi elementami stykowymi i jeżeli otwieranie obwodu zachodzi z odpowiednio małą szybkością, uniemożliwiająca rozerwanie mostka, materiał wówczas nagrzewa się do temperatury wrzenia i rozpryskuje. To właśnie zachodzi najczęściej w przekaźnikach telefonicznych prawie wszystkich typów, przy czym zgodnie z efektem Thomsona i Kellera najbardziej gorąca część mostka znajduje się po stronie anody, co powoduje ubytek materiału na anodzie i wytwarzanie się narośli na katodzie (rys. 3).

Dobrym kryterium oceny tego zjawiska są zmiany napięcia między elementami stykowymi w funkcji czasu. Charakterystyczną krzywą tych zmian przedstawia rys. 4.



Rys. 4. Zmiany napięcia między elementami stykowymi w miarę otwierania się obwodu

Zależnie od materiału stykowego może występować dwójakiego rodzaju wytwarzanie się mostka. I tak materiały wyszczególnione w tabl. 1 wytwarzają mostek o jednakowej średnicy na obydwóch elektrodach, podczas gdy materiały wyszczególnione w tabl. 2 wytwarzają mostek o większej średnicy na anodzie.

T a b l i c a 1

Materiały wytwarzające mostek o jednakowej średnicy na obydwóch elektrodach

Pt	Pd Ag 40
Pd	Au Ag 25 Pt 6
Pt Ir 20	

T a b l i c a 2

Materiały wytwarzające mostek o średnicy większej na anodzie

Au	Au Ag 30
Ag	Ag Pd 20

Metale i stopy drugiej grupy odznaczają się większym przeniesieniem materiału stykowego niż metale i stopy pierwszej grupy. Natomiast kierunek przenieszenia materiału obydwóch grup jest taki sam, a mianowicie z anody do katody. Średnia średnica mostka poszczególnych materiałów stykowych jest różna, co ma znaczenie omówione niżej (punkt 5.7). Średnice mostków najczęściej stosowanych materiałów stykowych zestawiono w tabl. 3.

T a b l i c a 3

Średnia średnica mostka materiałów stykowych

PtIr20	$15,0 \cdot 10^{-3}$ mm	AuAg25Pt6	$9,7 \cdot 10^{-3}$ mm
Pt	$10,2 \cdot 10^{-3}$ mm	AuAg30	$9,4 \cdot 10^{-3}$ mm
Pd	$9,9 \cdot 10^{-3}$ mm	Au	$4,2 \cdot 10^{-3}$ mm
	Ag $3,0 \cdot 10^{-3}$ mm		

Łuk elektryczny

Po rozerwaniu się mostka napięcie między elementami stykowymi gwałtownie zwiększa się wobec dużego oporu szczeliny stykowej.

Z kolei wytwarza się łuk elektryczny, będący wyładowaniem elektrycznym w powietrzu. Łuk ten powstaje w momencie zwiększenia się napięcia do wartości odpowiadającej napięciu łuku danego materiału stykowego, jeżeli przy tym natężenie prądu jest dostatecznie duże. Łuki mogą być dwojakiego rodzaju pod względem kierunku przenoszenia materiału stykowego.

Krótkie łuki

Gdy odległość między elementami stykowymi w chwili osiągnięcia napięcia łuku jest tak mała, iż anoda znajduje się w obszarze spadku potencjału katody (jony dodatnie wędrują do katody i nadają przestrzeni dodatni ładunek), wówczas anoda odparowuje bardziej niż katoda wskutek ciepła wytwarzającego się w wyniku uderzeń elektronów, charakteryzujących się bardzo dużą szybkością. Przenoszenie materiału zachodzi wtedy z anody do katody.

Łuk plazmowy

Gdy odległość między elementami stykowymi jest tak duża, że anoda jest poza obszarem spadku potencjału katody, wówczas katoda odparowuje bardziej niż anoda, a przenoszenie materiału zachodzi z katody do anody.

Tak więc łuk może charakteryzować się różnym kierunkiem przenoszenia materiału, które może zachodzić z anody do katody lub z katody do anody. Wygaszenie łuku następuje przez zwiększenie odległości między elementami stykowymi, przy czym im większa jest szybkość otwierania obwodu, tym mniejsza jest erozja spowodowana przez łuk. Zależnie od rodzaju materiału stykowego łuk wytwarza się przy napięciu 10-20 V.

Napięcie i natężenie łuku

Natężenia i napięcia łuku były przedmiotem licznych badań, których wyniki są rozbieżne, prawdopodobnie wskutek różnych warunków badań. Wyniki te, dotyczące oczyszczonych elementów stykowych, podano w tabl. 4.

T a b l i c a 4

Napięcie i natężenie łuku

Material stykowy	Minimalne natężenie łuku A	Minimalne napięcie łuku V
1	2	3
C	0,1 - 0,3	15,5 - 22
Cu	0,43 - 1,15	12,5 - 13
Ag	0,4 - 0,9	12 - 12,5
W	1,0 - 1,75	15 - 16,5
Pt	0,67 - 1,1	15 - 17,5
Au	0,38 - 0,42	11,5 - 15
AgPd10	0,3	11
CuZn		20

1	2	3
AgNi40		13
AgAu10	0,25	11
Fe	0,35 - 0,55	13 - 15
Ni	0,5	14
Zn	0,1	10,5 - 11,2
Rh	0,35	13
PdAg50	0,6	12
Pd	0,67	15

Wyładowanie świetlące

Po wygaśnięciu łuku szczelina stykowa dalej zwiększa się, a między elementami stykowymi powstaje napięcie, w wyniku którego następuje wyładowanie świetlące. Jest ono także wyładowaniem elektrycznym w powietrzu, lecz przy większym napięciu, wynoszącym około 300 V i zależnym od rodzaju materiału stykowego. Wyładowanie świetlące zanika przy zwiększaniu się odległości między elementami stykowymi, przy czym im większa jest szybkość otwierania, tym mniejszą erozję powoduje wyładowanie świetlące. Przenoszenie materiału podczas wyładowania świetlącego zachodzi z katody do anody.

Wnioski

Tak więc trzema głównymi przyczynami powodującymi erozję elementu stykowego przy otwieraniu obwodu, przez który przepływa prąd stały, są:

mostek	z przenoszeniem materiału z anody do katody
łuk elektryczny	z przenoszeniem materiału z anody do katody lub z katody do anody
wyładowanie świetlące	z przenoszeniem materiału z katody do anody.

5.2. Erozja przy zamykaniu obwodu

Warunki powodujące wyładowanie elektryczne w powietrzu podczas otwierania obwodu omówione powyżej, dotyczą także warunków podczas zamykania obwodu. I tak zależnie od napięcia, osiągnięcia natężenia łuku oraz wielkości szczeliny stykowej wytwarza się mianowicie wyładowanie świetlące albo łuk elektryczny. Mostki metaliczne nie powstają oczywiście przy zamykaniu obwodu, podczas którego może nastąpić natomiast zgrzewanie się elementów stykowych.

Zgrzewanie się elementów stykowych

Podczas zamykania obwodu może nastąpić zgrzewanie się elementów stykowych, którego intensywność zależy od rodzaju materiału stykowego, warstewek na elementach stykowych, natężenia prądu i nacisku stykowego. Zgrzewanie to jest spowodowane ciepłem wytwarzającym się wskutek dużego oporu zestyku.

Poza zgrzewaniem może wystąpić również spojenie ze-

styków w łuku, spowodowane zetknięciem elementów stykowych, stopionych wskutek nagrzania łukiem.

Wnioski

Trzema głównymi przyczynami powodującymi erozję elementu stykowego przy zamykaniu obwodu, przez który przepływa prąd stały, są:

wyładowanie światłące	z przenoszeniem materiału z katody do anody
łuk elektryczny	z przenoszeniem materiału z anody do katody lub z katody do anody
spawanie i zgrzewanie	bez przenoszenia materiału, powodujące jednak niesprawności zestyków, które mogą nie utworzyć się lub kleić się, względnie których powierzchnia staje się chropowata.

5.3. Odskokki zestyków

Odskakowanie zestyków zwiększa ich erozję, ponieważ każdy odskok jest związany z otwarciem i zamknięciem obwodu. Erozja spowodowana poszczególnymi odskokami może różnić się wielkością od erozji spowodowanej poszczególnym otwieraniem i zamykaniem obwodu, przy czym wielkość erozji spowodowanej odskokami zależy od napięcia i natężenia prądu w momencie odskoku oraz od czasu jego trwania.

5.4. Zjawiska występujące przy prądzie zmiennym

Te same zjawiska występują oczywiście, gdy przez zestyk przepływa prąd zmienny. Sposób występowania zjawisk jest jednak bardzo różny, zależnie od fazy prądu w czasie zamykania lub otwierania obwodu.

Zanik łuku i wyładowania świetlącego następuje w czasie połowy cyklu, gdyż natężenie prądu w tym czasie maleje do zera, po czym łuk i wyładowanie świetlące ponownie mogą wytwarzać się w miarę wzrostu natężenia i napięcia prądu. Tak więc również przenoszenie materiału stykowego jest zmienne i zależne od kierunku prądu podczas trwania poszczególnego zjawiska.

5.5. Uwagi o przenoszeniu materiału stykowego

Przenoszenie materiału z anody do katody

Gdy przeważa przenoszenie materiału stykowego za pośrednictwem mostka, materiał jest przenoszony w fazie ciekłej, a część materiału przenieszonego zostaje wtedy stracona wskutek rozprysnięcia mostka. W wyniku przenieszenia materiału powstają spiczaste narośla i kratery o chropowatej powierzchni, łatwo przywierające do siebie.

W przypadku przenoszenia za pomocą mostka i łuku przenoszenie materiału zachodzi za pośrednictwem jonów i pary metalu. Łuk powoduje rozprysk materiału poza jego obszar, wskutek czego tylko część materiału osadza się na katodzie, a pozostała jego ilość zostaje stracona

na. Stosunek ilości materiału przeniesionego do ilości materiału straconego jest mniejszy w tym przypadku niż w przypadku mostka, poza tym zaś w wyniku przenoszenia za pomocą łuku nie powstają spiczaste narośle, ponieważ łuk wędruje wokół powierzchni stykowej.

Przenoszenie materiału z katody do anody

Tego rodzaju przenoszenie zdarza się w przypadku łuku i wyładowania świetlącego. Materiał jest przenoszony za pomocą jonów i pary metalu, przy czym część materiału rozpryskuje się poza obszar łuku i wyładowania świetlącego, powodując, iż tylko część przenieszonego materiału gromadzi się na anodzie, podczas gdy pozostały materiał zostaje stracony. Ani łuk ani też wyładowanie świetlące nie powodują powstawania spiczastych narośli.

Wnioski

Gromadzenie się materiału stykowego na anodzie występuje, gdy przeważa przenoszenie za pomocą łuku lub wyładowania świetlącego. Natomiast gromadzenie się materiału na katodzie występuje, gdy przeważa przenoszenie za pomocą mostka (spiczaste narośle i kratery) lub też za pomocą mostka i łuku. W wyniku erozji elementów stykowych następuje pewnego rodzaju równowaga w przenoszeniu materiału, wyrażająca się w stracie materiału na obydwu elektrodach.

Powyższe zjawiska nie występują oczywiście na elementach stykowych, jeżeli nie zostały wytworzone dla nich właściwe warunki. I tak łuk elektryczny nie może wytwor-

rzyć się w obwodzie dotąd, aż napięcie między elementami stykowymi nie zwiększy się powyżej pewnego minimum wskutek dowolnego zjawiska zachodzącego w obwodzie, na przykład wskutek indukcji. Łuk nie może wytworzyć się również, gdy natężenie prądu jest mniejsze niż natężenie łuku aktywowanego elementu stykowego.

5.6. Zanieczyszczenie elementów stykowych

Każda warstewka lub ciało obce znajdujące się na powierzchni stykowej są uważane za zanieczyszczenie zestyku. Dlatego też najpierw może wydawać się, że najlepszy jest całkowicie czysty element stykowy, to znaczy element bez zanieczyszczeń, co jest jednakże błędne, gdyż dwa całkowicie czyste elementy stykowe (odgazowane w próżni przy wysokiej temperaturze) tworzą po zetknięciu prawie monolityczne połączenie w miejscach ich styku (ta właściwość czystych powierzchni jest wykorzystywana w technice przy spajaniu na zimno). Dlatego też w rzeczywistości potrzebne są tylko praktycznie czyste elementy stykowe, czyli elementy pokryte pewną ilością dopuszczalnego zanieczyszczenia, co charakteryzuje elementy stykowe poddane przez producenta oczyszczeniu po wyprodukowaniu (virgin contacts).

Aktywacja wskutek zanieczyszczenia

Aktywacja elementu stykowego wskutek jego zanieczyszczenia powoduje zwiększenie erozji elementu stykowego. Jest mianowicie wiadomo, że powietrze zawiera nie

tylko tlen, azot, wodór i inne czyste gazy, lecz również duże ilości gazów wytwarzających się w procesach produkcyjnych albo wydzielających się w postaci par z materiałów znajdujących w otoczeniu. Spośród tych ostatnich istotny wpływ na aktywację styków mają związki organiczne pochodzące z materiałów izolacyjnych, które tworzą na powierzchni stykowej warstewkę o grubości od jednej do kilku drobin. Związki te rozkładają się w łuku elektrycznym, jeżeli on powstaje, pozostawiając na pewnej części powierzchni stykowej osad węgla. Zależnie od grubości warstwy oraz charakteru łuku aktywowanego przez cząsteczki węgla zwiększa się odpowiednio odległość między elementami stykowymi, przy której następuje wygaszenie łuku, oraz zmniejsza się znacznie natężenie prądu, przy którym wytwarza się łuk (na przykład z 300 mA do 20-60 mA).

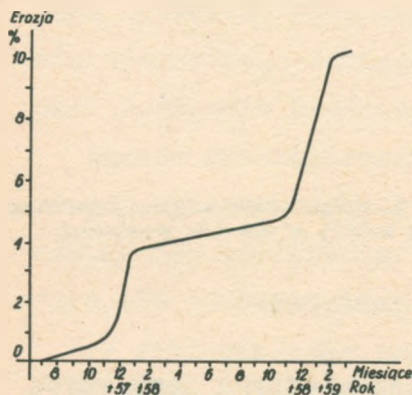
Cząsteczki węgla tylko inicjują powstawanie łuku. Po spalaniu się w łuku części lub całego osadu węgla następuje bowiem parowanie materiału elektrod, który przechodzi do łuku, w związku z czym przez większość czasu jego trwania łuk stanowią jony metali. Łuk ten powoduje ponowne spalanie z wytworzeniem osadu węgla na skraju obwodu łuku, w wyniku czego łuk wytwarza się stale w różnych miejscach powierzchni stykowych, a erozja ich w przypadku aktywowanych elementów stykowych ma tendencję do jednorodności.

Aktywacja zachodzi tylko w przypadku związków organicznych z wiązaniami nienasyconymi. Aktywacja nie występuje jednak, gdy prężność pary w powietrzu jest za

mała lub gdy wilgotność jest za duża, albo też gdy czas między kolejnymi łukami jest za mały do wytworzenia nowej warstewki związków organicznych. Stopy metalów szlachetnych aktywują się trudniej parami substancji organicznych niż same poszczególne składniki stopowe, przy czym, ogólnie biorąc, można stwierdzić, że erozja aktywowanych materiałów stykowych jest w przybliżeniu większa niż nie aktywowanych.

Wpływ wilgotności

Jak wspomniano wyżej, wilgotność ma wpływ na aktywację elementów stykowych i tym samym na ich erozję, przy czym, jak widać z rys. 5, wpływ ten jest bardzo duży.

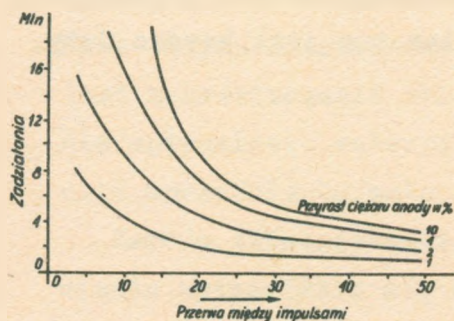


Rys. 5. Erozja elementów stykowych zależnie od wilgotności

I tak wyraźne zwiększanie się erozji uwidacznia się na rysunku tylko w okresach o małej wilgotności względnej, to znaczy w listopadzie i grudniu 1957 r., styczniu, listopadzie i grudniu 1958 r. oraz styczniu i lutym 1959 r., gdy wahała się ona w granicach od 15 do 25%. Najbardziej występuje erozja, gdy wilgotność względna jest mniejsza niż 40%.

Wpływ czasu między kolejnymi łukami

Badaniom tego wpływu poddano elementy stykowe obciążone cewką indukcyjną o oporze 60Ω , pracujące w obwodzie prądu stałego o napięciu 50 V , wykonane z palladu oraz zabezpieczone gasikami o pojemności $0,5 \mu\text{F}$ i oporze 150Ω . Wyniki badań przedstawia rys. 6, na którym podano krzywe jednakowego przenoszenia materiału na anodę w funkcji czasu między impulsami prądu w obwodzie oraz liczby zdarzeń zestyków. Po każdej przerwie nadawano 8 impulsów z częstotliwością 12 Hz .



Rys. 6. Wpływ czasu między impulsami na erozję elementów stykowych

5.7. Zabezpieczanie zestyków

Pożądana trwałość zestyków telefonicznych jest rzędu 15-20 lat. Zestyki te pracują w atmosferze o zmiennej wilgotności względnej oraz o stosunkowo dużej zawartości procentowej par substancji organicznych.

Elementy stykowe zestyków pozostających ponad minutę w stanie spoczynku między kolejnymi zdarzeniami ulegają całkowicie aktywacji już po kilku tysiącach zdarzeń, co uwidacznia się w wytwarzaniu łuku już przy

0,1 wartości minimalnego natężenia, niezbędnego do wytworzenia łuku między praktycznie czystymi elementami stykowymi. Trzeba jednak zaznaczyć, iż pewne wytwarzanie się łuku względnie wyładowania świetlącego jest pożądanym w celu kompensacji przenoszenia materiału przez mostek lub wygładzania powstałych narośli, wobec czego przeciwdziałanie tym zjawiskom przez zabezpieczanie zestyków jest zbędne, gdy zestyki obciążone są prądem o natężeniu mniejszym niż $\frac{1}{6}$ natężenia łuku czystych elementów stykowych. Natomiast przy prądzie o natężeniu większym niż powyższe oraz mniejszym niż natężenie łuku niezbędne jest zabezpieczanie zestyków przed wyładowaniem świetlącym, a przy natężeniu jeszcze większym niezbędne jest zabezpieczenie także przed łukiem. W celu ustalenia optymalnego zabezpieczenia trzeba zwykle przeprowadzić uprzednio badania trwałości.

Zasada zabezpieczania zestyków polega na uniemożliwieniu wytwarzania się energii w samych zestykach na początku ich otwierania. Celem tego, jak dotychczas, nie udało się jednak osiągnąć całkowicie.

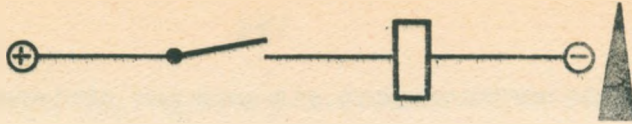
Do wytłumaczenia zagadnienia zabezpieczania zestyków najlepiej nadaje się powszechnie występujący w telefonii przypadek, przedstawiony na rys. 7. Przypadek ten przedstawia obwód prądu stałego o napięciu 50 V, w którym przekaźnik jest sterowany przez zestyk, przy czym opór przekaźnika jest tak mały, iż natężenie prądu przekracza natężenie łuku dla danego materiału stykowego. Zjawiska występujące przy otwieraniu takiego obwodu widoczne są na rys. 8, przedstawiającego zależność napięcia między

elementami stykowymi od czasu, z której wynika, że erozja elementu stykowego jest skutkiem powstawania mostka, łuku i wyładowania świetlącego.

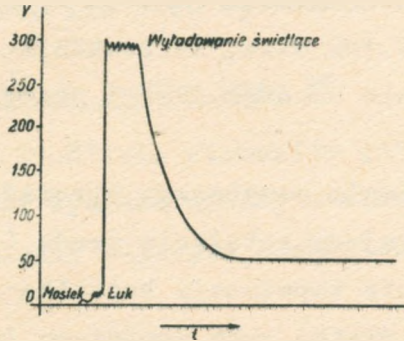
W celu uniknięcia iskrzenia powstającego w wyżej przedstawionych obwodach stosowane są gasiki, które mogą być m.in. diodami, lampami gazującymi, warystorami itp. Gasiki te są przyłączane do zestyku lub do cewki przekaźnika (rys. 9).

Ściśle mówiąc, gasiki służą do zabezpieczania zestyków tylko przed wyładowaniem świetlącym. Natomiast gasiki nie zabezpieczają przed mostkiem oraz rzadko eliminują łuk, gdyż impedancja gasików jest z zasady za duża przy napięciu istniejącym w momencie wytwarzania się mostka lub łuku. Dlatego właśnie gasiki nie mogą przeszkodzić w wytworzeniu się znacznej ilości energii w zestyku, co byłoby niezbędne dla uniknięcia powstawania łuku względnie stopienia materiału stykowego. Gasiki są więc stosowane przeważnie wtedy, gdy erozja jest powodowana przede wszystkim wyładowaniem świetlącym oraz gdy skutki erozji spowodowanej mostkiem i łukiem mogą być pominięte w oczekiwanym czasie życia zestyku.

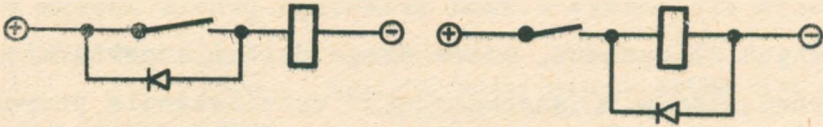
Najbardziej efektywnym gasikiem jest układ składający się z opornika i kondensatora (tzw. układ RC). Teoretycznie biorąc, idealnym zabezpieczeniem przed zjawiskami zachodzącymi przy otwieraniu zestyku powinien być natomiast sam duży bezstratny kondensator, podłączony do zestyku (rys. 10), gdyż tego rodzaju kondensator w chwili jakiegokolwiek zmiany napięcia między zestykami stanowi tak małą impedancję, iż może on przejąć z zestyku ca-



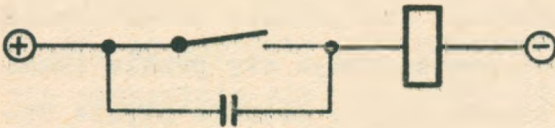
Rys. 7. Obwód z przełącznikiem i zestykiem



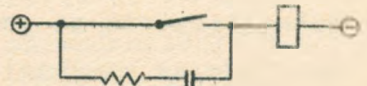
Rys. 8. Zależność napięcia między elementami stykowymi od czasu przy otwieraniu obwodu



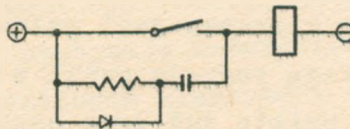
Rys. 9. Sposoby przyłączania gasika



Rys. 10. Gasik kondensatorowy



Rys. 11. Gasik typu RC



Rys. 12. Gasik typu RC z diodą

łą energię wytwarzającą się podczas otwierania obwodu. Wadą tego gasika jest jednak powstawanie prądu zwarcio-
wego przy zamykaniu obwodu wskutek wyładowania kondensa-
tora, które jest tak duże, iż powoduje ono wytwarzanie
się łuku (zależnie od napięcia) i następnie zgrzewanie
się zestyków.

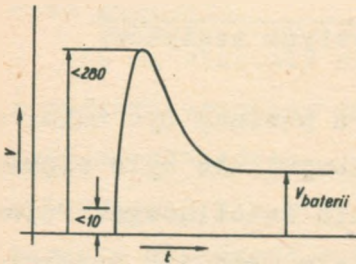
W celu uniknięcia powyższego wprowadza się dodatkowo
opornik ograniczający natężenie prądu (rys. 11), co po-
woduje zwiększenie impedancji bocznika obwodu i tym sa-
mym powstawanie mostka oraz częściowo łuku. Z uprzed-
nich rozważań wiadomo jest jednak, że w przypadku zesty-
ków aktywowanych przenoszenie materiału podczas wytwa-
rzania się mostka i łuku przebiega prawie zawsze w prze-
ciwnych kierunkach, wobec czego dzięki odpowiedniemu do-
borowi układu RC można uzyskać zrównoważenie przenosze-
nia w wyniku tych dwóch zjawisk i tym samym zmniejsze-
nie erozji do minimum.

Gdy do układu RC wprowadzi się ponadto diodę (rys.12),
zabezpieczenie za pomocą gasika staje się prawie ideal-
ne. Podczas zamykania obwodu prąd w diodzie płynie bo-
wiem w kierunku zaporowym, wobec czego prąd jest ogra-
niczany przez opornik. Natomiast przy otwieraniu obwodu
prąd płynie w diodzie w kierunku przewodzenia i tylko
opór diody w tym kierunku jest połączony szeregowo z
kondensatorem. Tego rodzaju gasik z odpowiednio dobra-
nymi elementami działa już przy napięciu między elemen-
tami stykowymi wynoszącym 0,6 V, a ponieważ jest on przy
tak małym napięciu efektywny, uniemożliwia on całkowi-
cie wytwarzanie się łuku oraz chroni stopiony materiał
mostka przed wrzeniem.

Gdy poza tym jest możliwy duży czas wyładowania kondensatora między poszczególnymi działaniami zestyku, wówczas gasik może nie mieć opornika.

Określenie elementów gasika typu RC

Przybliżone określenie elementów gasika typu RC jest możliwe za pomocą wykresu zmiany w czasie otwierania obwodu napięcia między czystymi elementami stykowymi (rys. 13).



Rys. 13. Zmiany napięcia między elementami stykowymi w czasie otwierania obwodu

Z wykresu tego widać mianowicie, że napięcie najpierw zwiększa się gwałtownie, przy czym łuk nie wytwarza się dotąd, aż napięcie jest mniejsze niż 10 V. Gdyby jednak łuk całkowicie nie wytwarzał się, spowodowałoby to przenoszenie materiału stykowego tylko za pośrednictwem mostka, w wyniku czego w większości przypadków zachodziłoby sklejanie się zestyków. Gdy natomiast po pewnym krótkim czasie wystąpi łuk wskutek aktywacji elementów stykowych, wówczas następuje zrównoważenie przenoszenia materiału z poszczególnych elektrod i wygładzenie narośli.

Jeżeli zestyki działają ciągle z dużą szybkością (zanieczyszczenie elementów stykowych jest małe albo w

ogóle nie występuje), a natężenie prądu jest zbliżone do minimalnego natężenia powodującego łuk między zestykami, napięcie na początku powinno zwiększyć się do około 50V w celu podtrzymania małego łuku. Wzrost napięcia na początku ogranicza się opornikiem, przy czym im większy jest jego opór, tym większy jest początkowy wzrost napięcia. Minimalny opór opornika (w celu uniknięcia nadmiernego zgrzewania się zestyków przy zamykaniu obwodu) wynosi

$$R = \frac{V_{\text{baterii}}}{\text{natężenie prądu łuku (czystych zestyków)}}$$

Natomiast pojemność kondensatora powinna być taka, aby napięcie między elementami stykowymi nie było większe niż 280 V dla uniknięcia wyładowania świetlącego. Pojemność musi być ponadto możliwie mała w celu jak największego zmniejszenia zgrzewania się elementów stykowych podczas zamykania obwodu.

Reasumując,

- pojemność kondensatora powinna być możliwie mała oraz powinna uniemożliwiać zwiększenie napięcia ponad 280 V,

- opór opornika powinien być nie mniejszy niż obliczony z wyżej podanego wzoru oraz powinien zapewniać, aby na początku otwierania obwodu napięcie nie zwiększyło się ponad 10 V.

Takie określanie elementów gasika jest prawidłowe w większości przypadków. Określanie to staje się jednak

zawodne, gdy trzeba zastosować opornik mniejszy niż wskazano wyżej, wobec czego w takich przypadkach w celu ustalenia optymalnych elementów gasika jest najczęściej niezbędne uprzednie przeprowadzenie badań trwałości.

Zabezpieczanie przeciw wytwarzaniu się mostka

Sam mostek wytwarza się wtedy, gdy napięcie między elementami stykowymi jest mniejsze niż napięcie łuku danego materiału stykowego. Wytwarzanie się mostka jest poza tym głównym zjawiskiem w przypadku ciągle działających zestyków.

Nie ma niestety sposobu całkowitego zabezpieczenia przed wytwarzaniem się mostka. Gdy mostek jest głównym źródłem uszkodzeń, można jednak zmniejszyć skutki jego wytwarzania się przede wszystkim przez zastosowanie materiału stykowego o większej twardości. Ponadto wytwarzanie się mostka można bardzo zmniejszyć przez zastosowanie gasików typu RC z diodą.

Innym sposobem przeciwdziałania wytwarzaniu się mostka jest zastosowanie współpracujących elementów stykowych z różnych materiałów. W tym celu jedną elektrodę wykonuje się z materiału stykowego o większej średnicy mostka, a drugą elektrodę z materiału o mniejszej średnicy mostka. Ponieważ materiał o większej średnicy mostka powoduje większe straty, stosuje się go na katodę, uwzględniając, że wskutek erozji mostkowej następują straty materiału na anodzie, wobec czego należy dążyć, aby w stopionym mostku było więcej materiału z katody niż z anody. W taki właśnie sposób zmniejsza się sam

mostek względnie uzyskuje się niekiedy przenoszenie materiału z katody na anodę. W wyniku takiego przenoszenia mostek składa się następnie tylko z materiału katody, który jest przenoszony z kolei z anody do katody dotąd, aż obnaży się materiał anody. W rezultacie uzyskuje się nieco bardziej równomierną erozję zestyków.

Dobre wyniki uzyskuje się przy współpracy materiałów podanych w tabl. 5.

T a b l i c a 5

Współpracujące materiały elektrod
wykonanych z różnych materiałów stykowych

Anoda	Katoda
Au	Pt
Ag	Pt
Au	PtIr20
Au	Pd
Ag	Pd

5.8. Prognozowanie trwałości elementów stykowych

Prognozowanie trwałości elementów stykowych jest bardzo trudne i dlatego dotąd trwałość ich można określić tylko po przeprowadzeniu badań.

Przenoszenie materiału z katody do anody

Ilość materiału w procentach przenoszonego z katody do anody można ustalić w przypadku elementów stykowych z palladu i jego stopu ze srebrem z dokładnością około + 10%

za pomocą poniższego wzoru empirycznego

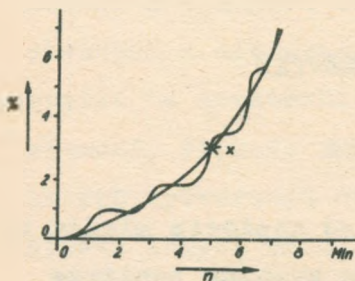
Ilość materiału przenieszonego z katody do anody w procentach = $x^n - 1$,

gdzie n - liczba milionów zadziałań zestyków.

Zależność ta jest słuszna, gdy natężenie prądu wynosi ponad 500 mA (możliwe, iż także przy mniejszych natężeniach prądu, co nie zostało jednak sprawdzone), gdy zestyki są zabezpieczone gasnikami typu RC oraz gdy przerwy między impulsami są większe niż 20 sekund.

Do prognozowania trwałości zestyków przy użyciu powyższej zależności niezbędne jest jednakże przeprowadzenie stosunkowo małej próby trwałości w celu określenia x . Sposób postępowania jest przy tym następujący:

a. Próbę trwałości trzeba przeprowadzać dotąd, aż ilość przenieszonego materiału będzie wynosić 2 -4% lub co najmniej dotąd, aż krzywa przedstawiona na rys. 14 będzie wykazywała regularny średni przyrost.



Rys. 14. Zależność ilości przenieszonego materiału od liczby zadziałań zestyków

b. Po przeprowadzeniu próby trwałości trzeba wyśrednić krzywą przedstawiającą średni przyrost (krzywa przerywana na rys. 14).

-c. Z kolei należy wybrać punkt do obliczenia $\lg x$ (krzyżyk na rys. 14)

$$\lg x = \frac{\lg (\% + 1)}{n}$$

d. Ponieważ typowe uszkodzenie występuje przy ilości 30% przenoszonego materiału, liczba zadziałań do wystąpienia takiego przenoszenia wynosi

$$n' = \frac{\lg (30 + 1)}{\lg x} = \frac{1,481}{\lg x} .$$

Przenoszenie materiału z anody do katody

Ilość materiału przenoszonego w tym kierunku zwiększa się wprost proporcjonalnie do liczby zadziałań, przy czym, zależnie od materiału stykowego, klejenie się zestyków występuje przy ilości przenoszonego materiału wynoszącej 4-5%. Ilość ta jest słuszna zarówno dla zestyków zabezpieczonych gasikami, jak też dla zestyków niezabezpieczonych.

6. NADMIERNY OPÓR ZESTYKU

6.1. Mikrozestyki

Opór elementu stykowego zależy od napięcia między elementami stykowymi. I tak istnieją wyraźne niższe wielkości napięć, przy których następuje zmniejszenie oporu elementu stykowego:

- a) napięcie przebicia warstewki izolacyjnej, czyli napięcie niezbędne do zainicjowania przewodzenia prądu;
- b) napięcie, przy którym następuje zmięknienie materiału stykowego;
- c) napięcie, przy którym następuje topnienie materiału;
- d) napięcie, przy którym następuje wrzenie materiału.

Gdy element stykowy znajduje się w obwodzie zasilanym energią niedostateczną do zmiany jego oporu, element taki nazywa się mikrozestykiem (dry circuit contact, micro contact). Ponieważ przebicie warstewki na elemencie stykowym występuje przy 0,03 V, mikrozestyk może więc znajdować się tylko w takim obwodzie, w którym napięcie między elementami stykowymi nigdy nie przekracza przez czas dłuższy tej wartości.

Warstewki na elementach stykowych

Najbardziej istotne w przypadku mikrozestyków są warstewki znajdujące się na nich oraz ich opór, ponieważ w obwodach z mikrozestykami nie ma luków, które mogłyby spalić te warstewki, oraz ponieważ moc przenoszona przez elementy stykowe jest stosunkowo mała. Na elementach stykowych wytwarzają się tlenki, siarczki, chlorki i warstewki innych związków, które w czasie wynoszącym od kilku sekund do kilku minut osiągają grubość 10-30 Å, zwiększając się następnie powoli do kilku setek Å. Warstewki mogą być utworzone również przez pary substancji

krzemoorganicznych, wydzielające się z uszczelek, smarów i elementów izolacyjnych.

Osad brązowy

Osad brązowy jest to jeden z rodzajów warstewek wytwarzanych przez substancje organiczne, którego występowanie jest całkowicie niezależne od takich czynników otoczenia, jak kurz lub gazy działające korodująco. Wytwarzanie osadu brązowego nie wymaga przepływu prądu i jest zależne tylko od czynności mechanicznych zestyków znajdujących się w atmosferze powietrza zanieczyszczonego parami substancji organicznych. Do wytworzenia osadu brązowego wystarczy mianowicie wzajemny ruch cierny elementów stykowych o posuwie mniejszym nawet niż 170 mikronów. Osad ten gromadzi się na powierzchni bezpośrednio przylegającej do powierzchni tarcia elementów stykowych, przy czym gromadzenie osadu mogą powodować zarówno nasycone, jak i nienasycone związki alifatyczne i aromatyczne, gdy ich zawartość w atmosferze jest nawet rzędu śladów.

Materiały, na których wytwarza się brązowy osad, zestawiono w tabl. 6, a materiały niepodatne do wytwarzania osadu - w tabl. 7.

Na wytwarzanie się osadu brązowego ma określony wpływ częstotliwość zadziałań zestyków. I tak maksymalna ilość osadu występuje przy częstotliwości 1 Hz.

Pary substancji organicznych pochodzą w przeważającej większości z izolacji drutu nawojowego. Stwierdzono poza tym, że wytwarzanie się na elementach stykowych

T a b l i c a 6

Materiały wytwarzające brązowy osad

Pt-Pt	Au-Pd
Pd-Pd	Ag-Pd
Ru-Ru	PdAu-PdAu
Ta-Ta	PdCu-PdCu
Rh-Rh	AuAg-Pd
Mo-Mo	PtAuAg-PtAuAg
Cr-Cr	Au-Au (bardzo mały osad)

T a b l i c a 7

Materiały niepodatne do wytwarzania brązowego osadu

Cu-Cu	Fe-Fe
Ag-Ag	Zn-Zn

brązowego osadu zwiększa się niezmiernie ze zwiększaniem się temperatury uzwojenia.

Na ilość wytwarzającego się osadu ma wpływ również wilgotność względna atmosfery. I tak przy wilgotności ponad 40-60% wytwarzanie osadu zmniejsza się praktycznie liniowo ze wzrostem wilgotności względnej tak, iż przy wilgotności 85% wytwarzanie się osadu jest już bardzo małe.

Uniknięcie lub zmniejszenie wytwarzania się warstewek izolacyjnych oraz brązowego osadu jest możliwe w praktyce za pomocą właściwego doboru materiału stykowego. Najlepsze są w większości przypadków materiały o do-

brej przewodności elektrycznej, odporne na utlenianie i mało podatne do zanieczyszczania się. Intensywność uszkodzeń zestyków można zmniejszyć także przez zwiększenie szybkości ich zadziałań, poza tym zaś warstewki i osady mogą być usunięte w chwili udaru elementu stykowego. Bardzo cienkie warstewki, o grubości mniejszej niż 30 Å, przewodzą dzięki zjawisku tunelowego przewodzenia prądu.

6.2. Szumy w zestykach

Wszystkie warstewki i osady na elementach stykowych mogą powodować szumy. Zamknięty zestyk ma bowiem pewien opór i jeżeli przepływa przez niego prąd, generuje on w zestyku pewne napięcie, które może zmieniać się i wytwarzać szum, gdy elementy stykowe poruszają się względem siebie wskutek drgań lub innych czynników mechanicznych. Ponieważ warstewki i osady nie są równomiernie rozmieszczone na stosunkowo chropowatej powierzchni stykowej oraz ponieważ rzeczywiste powierzchnie i miejsca styku zmieniają się przy poszczególnych położeniach elementów stykowych, opór zestyku zmienia się ciągle podczas drgania, co z kolei powoduje zmianę napięcia zestyku i tym samym szum.

6.3. Zużycie elementu stykowego

Zużycie elementu stykowego może być wynikiem zjawisk elektrycznych omówionych w rozdziale o erozji, tarcia albo też obydwóch tych zjawisk.

Niektóre warstewki i osady na elementach stykowych, jak na przykład węglowodory, zmniejszają zużycie spowodowane tarciem dzięki ich własnościom smarnym i są wobec tego korzystne. Gdy jednak szumy w zestykach i zużycie elementów stykowych mają rozstrzygające znaczenie, wtedy warstewki i osady stanowią zasadniczą niedogodność.

W celu zmniejszenia do minimum zużycia elementów stykowych wskutek tarcia współpracujące elementy muszą być z różnych materiałów, z których jeden powinien być twardszy.

6.4. Zestyki ślizgowe

Zestyki zamykające i otwierające obwód, nie obciążone elektrycznie

Ruch ślizgowy czystych elementów stykowych może być trojakiemu rodzaju:

a. Ruch ślizgowy materiału twardego o wysokiej temperaturze topnienia po materiale o mniejszej twardości i niższej temperaturze topnienia. W takim przypadku ruch jest szarpany, z szybkimi poślizgami.

b. Ruch ślizgowy materiału o niskiej temperaturze topnienia po materiale o wysokiej temperaturze topnienia. Ruch jest wówczas szarpany, a udział szybkich poślizgów jest znacznie większy.

c. Ruch ślizgowy takich samych materiałów. Ruch taki jest związany ze znacznie większym i nierównomiernym

tarciem, podczas którego nie ma szybkich poślizgów.

Przewodność elektryczna elementów stykowych smarowanych olejami mineralnymi lub czystymi węglowodorami jest tego samego rzędu jak czystych elementów. Gdy do smarowania używa się kwasów tłuszczowych o długich łańcuchach, zapewniających ciągły ruch ślizgowy, przewodność jest jeszcze większa i tylko nieznacznie zmienna w czasie.

Pomiary oporu elementów stykowych wykazały, że tylko najbardziej efektywne smary uniemożliwiają bezpośredni styk powierzchni metalicznych przy naciskach stykowych mniejszych niż 1 G. Natomiast przy naciskach większych niż 1 G opór elementu stykowego jest tego samego rzędu jak elementu czystego, z czego wynika, że powierzchnie stykowe tak szczelnie przylegają wtedy do siebie, iż przewodzenie prądu zachodzi dzięki zjawisku tunelowemu, a powierzchnie ślizgowe nie są pokryte jakimikolwiek warstewkami elektroizolacyjnymi tlenków. Warstewki te są mianowicie usuwane przez tarcie podczas ruchu ślizgowego lub przez działanie chemiczne bardziej aktywnych smarów, przy czym materiał stykowy jest zabezpieczony przed ponownym utlenianiem przez znajdującą się na nim warstewkę smaru.

Zestyki ślizgowe otwierające i zamykające obwód, obciążone elektrycznie

Badania nad takimi zestykami objęły dotąd tylko szczotki zestyków pierścieniowych silników elektrycznych i prądnic, co umożliwia przeniesienie na zestyki

metaliczne tylko niektórych wniosków z tych badań. Tymczasem u zestyków ślizgowych może oczywiście także występować erozja spowodowana wyżej omówionymi zjawiskami, a ruch szarpany zestyków ślizgowych może być w pewnym sensie przyrównany do odskoków zestyków. Wpływ łuku na smary do zestyków stanowi więc szerokie pole do badań.

7. MATERIAŁY STYKOWE

Przemysł oferuje liczne różne materiały stykowe. W niniejszym rozdziale przeprowadzono próbę zestawienia głównych własności materiałów stykowych używanych w telefonii oraz do podobnych zastosowań.

7.1. Klasyfikacja materiałów pod względem własności

Materiały o dobrej przewodności elektrycznej

Srebro

Materiał ten odznacza się dobrą przewodnością elektryczną i dobrym przewodnictwem cieplnym oraz małym oporem przejścia. W atmosferze beztlenowej wykazuje ono czterokrotnie większą erozję niż w powietrzu, przy czym minimum erozji występuje przy określonej zawartości tlenu. Tlenek srebra przechodzi ponownie w srebro metaliczne pod wpływem łuku.

Zastosowanie - czułe zestyki pracujące przy małych i średnich naciskach stykowych, małym napięciu i małym natężeniu prądu.

Wady - niska temperatura topnienia, mała twardość, pokrywanie się siarczkiem srebra, zwiększającym opór przejścia.

Stopy srebra

Jako dodatki stopowe stosuje się Cu, Cd, Ni, Zn, Mn, Pt, Pd, Fe. Ich głównym zadaniem jest zwiększenie twardości, podwyższenie temperatury topnienia, zwiększenie odporności przeciw erozji, zgrzewaniu, spawaniu i korozji. Stopy AgCd i AgZn są stosowane w pewnej mierze w atmosferze zawierającej siarkę.

Materiały odporne na korozję i utlenianie

Pallad, platyna, złoto

Materiały te są odporne na utlenianie i odznaczają się małym oporem przejścia.

Zastosowanie - zestyki o małym nacisku stykowym, pracujące w atmosferze zanieczyszczonej (zawierającej siarkę), a także zestyki o małej szczelinie.

Wady - materiały o dużej odporności przeciw utlenianiu się są podatne do zgrzewania.

Stopy palladu, platyny i złota

Jako składniki stopowe stosuje się Ir, Ru, Rh, Os, Cu, Ni, Fe, Ag. Ich głównym zadaniem jest zwiększenie odporności przeciw utlenianiu i działaniu innych czynników chemicznych.

Materiały żaroodporne lub odporne na łuk

Wolfram, molibden

Metale te charakteryzują się wysoką temperaturą topnienia oraz nadzwyczaj dobrą odpornością przeciw zgrzewaniu, nadtapianiu i erozji łuku.

Zastosowanie - w obwodach o dużych przepięciach i zestykach o stosunkowo dużym nacisku stykowym.

Wady - podatność do utleniania, duży opór zestyku, trudności umocowania.

Materiały o dobrej przewodności i odporności na łuk

Materiały dwufazowe

Materiały o strukturze składającej się z dwóch faz są otrzymywane najczęściej metodami metalurgii proszków. Niektóre z nich są tylko prasowane, prasowane i spiekane, prasowane w wysokiej temperaturze albo spiekane i nasycane, a niektóre są ponadto poddawane dodatkowej obróbce.

Grafit - mały opór przejścia w przypadku zestyków ślizgowych (małe szumy).

AgNi - odporny na łuk oraz odkształcenia, podatny do zgrzewania.

AgMo - odporny na łuk i zgrzewanie, mały opór przejścia, nadający się do pracy przy dużym natężeniu prądu.

AgW - jak AgMo, lecz nieco większy opór przejścia.

CuMo i CuW - podobne zastosowanie jak AgMo i AgW, gdy wytwarzanie się warstewek tlenku nie ma znaczenia.

Stopy srebra zawierające małe dodatki Cu, Ni, Fe lub grafitu - duża przewodność elektryczna i duże przewodnictwo cieplne, mały opór zestyku.

Stopy wolframu i molibdenu zawierające małe dodatki jak wyżej - wysoka temperatura topnienia, duża odporność przeciw zgrzewaniu oraz erozji łuku.

7.2. Klasyfikacja zależnie od zastosowania

Praca przy małym natężeniu prądu i nacisku stykowym

Zasadnicza własność materiału - maksymalna odporność przeciw korozji i erozji.

Srebro - wadą jego jest mała odporność przeciw atmosferze zawierającej siarkę.

Stopy srebra - polepszenie twardości przez dodatek Cu, Zn, Cd, Mn, Ni, Fe, polepszenie odporności przeciw atmosferze zawierającej siarkę przez dodatek Cd, Mn, Pt, Pd, Au.

Złoto - wadą jego jest mała twardość.

Stopy złota - polepszenie twardości przez dodatek Ag, Cu, Zn, Pt, Pd.

Platyna - wysoka temperatura topnienia, dobra odporność przeciw korozji, zgrzewaniu i erozji łuku, mały opór przejścia.

Stopy platyny - polepszenie twardości przez dodatek Ir, Ru, Rh, Au, Ag, Ni, Cu.

Pallad - niższa temperatura topnienia i taka sama twardość w porównaniu z platyną.

Stopy palladu - zwiększenie twardości przez dodatek Au, Pt, Ir, Ag, Cu.

Praca przy napięciu prądu stałego 6-24 V, natężeniu do 20 A i nacisku stykowym 50-300 G

Zasadnicze własności materiału - duża przewodność elektryczna i duże przewodnictwo cieplne.

Srebro - za mała twardość.

Stopy srebra - zwiększenie twardości i odporności przeciw korozji przez dodatek Cu, Cd, Ni, Zn, Mn, Pt, Pd, Au, wyeliminowanie zgrzewania i spawania zestyków oraz polepszenie odporności na działanie łuku przez dodatek Cd, Ni, Mn, tlenków metali.

Pallad - zwiększona odporność przeciw korozji.

Stopy palladu - zwiększenie twardości i odporności przeciw korozji przez dodatek Ag, Ni, Cu, Au, Pt.

7.3. Obciążanie elementów stykowych

Dane wskazujące dopuszczalne obciążenie elementów stykowych, podawane przez producentów, dotyczą elementów pracujących przy prądzie zmiennym o częstotliwości 60 Hz i napięciu do 115 V, obciążonych oporem (bez obciążenia indukcyjnego), działających ciągle, bez odskoków, wykonujących co najmniej 100000 zadziałań, mających kształt półkuli lub krążka. Dane te, różniące się zależnie od producenta, oznaczają, że element stykowy może być poddany w stanie zwarcia wskazanemu obciążeniu bez obawy takiego nadmiernego nagrzania powierzchni stykowych, które spowodowałoby przekroczenie temperatury topnienia materiału stykowego. Powyższe dane, najczęściej podawane przez producentów elementów stykowych, przedstawia tabl. 8.

T a b l i c a 8

Obciążenia elementów stykowych

Materiał stykowy	Wymiary styczki, mm		Natężenie prądu A	Moc W
	średnica	wysokość		
1	2	3	4	5
Ag	1,5-1,9	0,5-0,6	1	50
	2,2-2,4	0,4-0,9	1,5	125
	3,1	0,4-0,8	3	350
	3,1	1,2-1,25	4	450
	3,1	1,5	8	500

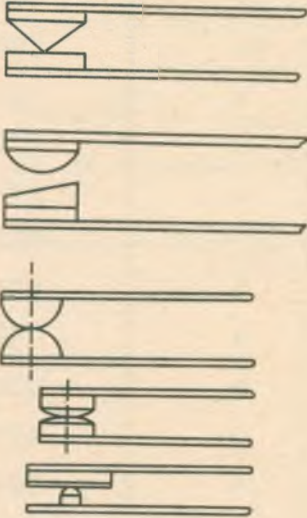
1	2	3	4	5
	3,9-4,4	0,6-1,2	5	900
	6,2	1,5	12,5	1400
Pd	1,5-2,1	0,5-0,8	3	150
	2,2-2,3	0,8-0,9	4	175
	3,1	0,9-1,25	4	200
PdAg	1,4	0,5	2	135
	1,7-2,1	0,5-0,8	3	150
AgCd	3,1	1,25	10	400
	4,9	1,25	10	500
Stop Au	1,5-1,9	0,5-0,6	1	50
PtIr	1,9	0,6	3	150
	2,25	0,9	4	175
PtRh	1,7-1,9	0,5-0,8	3	150
	2,4	0,8	4	175
W	1,5	0,6	1	150
	1,9	0,5	2	400
	3,1	0,9-1,6	3	450
	4,4-4,7	0,9-1,25	4	500
WAg	4,4-4,7	1,25-1,6	5	650
	6,25	1,6	10	1150

Dane wskazujące dopuszczalne obciążenie elementów stykowych przy zamykaniu i otwieraniu obwodów dotyczą elementów ponadto zabezpieczonych właściwymi gasnikami. Obciążenie elementów w tym stanie powinno być o 10-30% mniejsze niż elementów w stanie spoczynku, a w przypad-

ku obciążenia indukcyjnego z właściwym zabezpieczeniem zestyków powinno ono być mniejsze nawet o 50%.

7.4. Kształt styczek

Styczki mogą mieć różny kształt, przeważnie zależny od konstrukcji mechanicznej urządzenia, w którym są one stosowane. Niektóre kształty sprzyjają przebiciu mechanicznemu warstewek na elementach stykowych (rys. 15a),



Rys. 15. Kształty elementów stykowych

ponieważ ostre zakończenie lub wierzchołek stożka łatwo przebija warstewkę dzięki dużemu naciskowi w ostrzu względnie wierzchołku. Kształt przedstawiony na rys. 15b sprzyja rozrywaniu się mostka, gdyż ruch obwodowy górnego elementu stykowego wytwarza siłę ścinającą mostek.

Rys. 15c-e przedstawiają kształty styczek najczęściej stosowanych w przekaźnikach telefonicznych. Styczki bliźniacze stosuje się w przypadku małych i średnich

nacisków stykowych oraz obciążeń w celu polepszenia niezawodności zamykania obwodu w atmosferze zawierającej kurz oraz agresywnej pod względem korozji.

8. ZASADY STOSOWANIA ELEMENTÓW STYKOWYCH

8.1. Czynniki wpływające na konstrukcję elementów stykowych

Ponieważ na zachowanie się elementów stykowych wpływa wiele czynników, nie ma wobec tego ogólnej zasady konstruowania elementów i doboru materiału stykowego. Dlatego też przy konstruowaniu elementu stykowego trzeba uwzględnić niżej wyszczególnione czynniki:

Czynniki elektryczne

Rodzaj prądu	stały, zmienny
Napięcie	napięcie prądu zasilania stałego lub zmiennego, napięcie generowane przez obwody, na przykład wskutek indukcji
Częstotliwość prądu	
Obciążenie	oporowe, indukcyjne, pojemnościowe
Zabezpieczanie	gasiki typu RC, diody, warystory, oporniki, lampy gazujące itd.

Czynniki mechaniczne

Częstotliwość za- działań	mała, mniejsza niż 0,1 Hz średnia, 0,1 - 10 Hz duża, ponad 10 Hz
Przerwy między impulsami	duże, ponad 1 min średnie, 1 min - 10 s małe, mniejsze niż 10 s
Szybkość otwierania obwodu -	mała szybkość sprzyja du- żej erozji spowodowanej łukiem, a duża szybkość większym przepię- cieniom w obwodach indukcyjnych.
Szybkość zamykania obwodu -	duża szybkość sprzyja prze- biciu warstewek i osadów na ele- mentach stykowych.
Szczelina stykowa	dostatecznie duża przy otwieraniu obwodu w celu uniknięcia powstawa- nia łuku
Nacisk stykowy	przy doborze należy uwzględnić twardość, odporność przeciw od- kształceniom oraz ścieranie mate- riału stykowego, poza tym zaś na- cisk stykowy powinien być dosta- tecznie duży dla przebicia warste- wek i osadów na elementach styko- wych; im większy jest nacisk sty- kowy, tym mniejszy jest opór przej- ścia.

Ruch zestyku ruch cierny, ślizgowy i toczny sprzy-
ja przebiciu warstwek na elementach
stykowych, jakkolwiek może on także
sprzyjać ich wytwarzaniu, jak na
przykład osadu brązowego.

Długie stany spoczynku zestyków otwartych lub zamknię-
tych - elementy stykowe muszą być
odporne przeciw utlenianiu, korozji
i innym czynnikom chemicznym

Sposób działania zestyku - zrywy, poślizgi

Odskoki zestyku powinny być możliwie małe w celu
zmniejszenia do minimum erozji ze-
styków

Wymiary elementu powinny być dostatecznie duże do
odprowadzenia wydzielającego się
ciepła

Kształt elementu stykowego - zależny od wymaganego spo-
sobu działania, zmniejszenia erozji
oraz rozmieszczenia osadu

Czynniki otoczenia

Temperatura

Wilgotność

Gazy i pary związki organiczne aktywują wytwa-
rzanie się łuku oraz powodują po-
wstawanie osadu brązowego; benzyna
i olej są szkodliwe dla niektórych

stopów platyny i mogą spowodować pokrywanie się ich warstewką całkowicie izolującą elektrycznie

Mgła soli

Specjalna atmosfera

Ciała obce brud, kurz, piasek mogą ułatwiać wytwarzanie łuku oraz powodować nadmierne zwiększanie temperatury albo lokalne wżery.

Rodzaj czynnika nie świadczy o jego ważności dla konstrukcji elementu stykowego. Zależnie od zastosowania zestyku znaczenie poszczególnego czynnika może być bowiem różne.

8.2. Przykłady konstruowania elementu stykowego

Przełącznik pracujący w obwodzie kontrolnym urządzenia przemysłowego

Przełącznik ma dwa zestyki, z których jeden uruchamia przełącznik mocy w obwodzie prądu stałego o napięciu 50V, a drugi - przełącznik kontrolny w obwodzie prądu stałego o napięciu 24 V. Opór uzwojenia przełącznika mocy wynosi 100Ω , a opór uzwojenia przełącznika kontrolnego 2000Ω . Przełącznik działa jeden raz co 12 sekund przez 8 godzin w ciągu doby. Obwód kontrolny znajduje się w ośrodku przemysłowym o atmosferze znacznie zanieczyszczonej gazami zawierającymi siarkę oraz kurzem. Temperatura i wilgoć nie są regulowane.

Warunki pracy zestyku uruchamiającego przekaźnik mocy są następujące: prąd stały o napięciu 50 V i natężeniu 500 mA, obciążenie indukcyjne, duża częstotliwość zadziałań, pozostawanie w stanie spoczynku przez 16 godzin w atmosferze zanieczyszczonej gazami zawierającymi siarkę, a także kurzem, szybkość zadziałań 7,5 na sekundę, co odpowiada 1,62 miliona zadziałań rocznie.

Duża częstotliwość zadziałań zmniejsza bardzo znacznie aktywację elementów stykowych spowodowaną zanieczyszczeniami, natomiast duży czas spoczynku zestyków jest niekorzystny, wskutek czego materiał stykowy musi być odporny na korozję i utlenianie. Ze względu na atmosferę zanieczyszczoną gazami zawierającymi siarkę oraz duże natężenie prądu zastosowanie srebra na elementy stykowe nie wchodzi w rachubę, wobec czego trzeba go zastąpić przez materiał zaliczony uprzednio do grupy materiałów odpornych na utlenianie i korozję. W celu uzyskania dobrej odporności przeciw utlenianiu, korozji oraz innym czynnikom atmosferycznym należy spośród nich wybrać stop, a mianowicie stop typu PdAg, który jest powszechnie produkowany i stosunkowo tani.

Ponieważ natężenie łuku w przypadkach czystych elementów stykowych ze stopu PdAg wynosi 0,6 A, a natężenie prądu jest większe niż $\frac{1}{6}$ natężenia łuku, lecz mniejsze niż to natężenie, musi być więc zastosowany gasik w postaci diody, warystora lub lampy gazującej. Jeżeli natomiast ma być zastosowany gasik typu RC, trzeba wtedy przeprowadzić próbę omówioną w pkt. 5.7, z której okazało się, iż w danych warunkach jest wystarczający gasik

0,4 μF . 120 Ω . Ostatecznie wybrano jednak następną standardowy gasik 0,5 μF . 150 Ω , gdyż jego zadaniem jest tylko wyeliminowanie wyładowania świetlącego, co lepiej zapewnia większą pojemność. Nieznaczne zwiększenie oporu nie ma przy tym znaczenia, wobec stosunkowo małego znaczenia łuku.

Warunki pracy zestyku uruchamiającego przekaźnik kontrolny są następujące: prąd stały o napięciu 24 V, natężenie prądu 12 mA, duża częstotliwość zadziałań, pozostawianie w stanie spoczynku przez 16 godzin w atmosferze zanieczyszczonej gazami zawierającymi siarkę, a także kurzem, liczba zadziałań w roku - 1,62 miliona.

W powyższych warunkach pracy element stykowy musi być odporny przeciw korozji i utlenianiu. Jednocześnie natężenie prądu jest znacznie mniejsze niż $\frac{1}{6}$ natężenia łuku wytwarzającego się między czystymi elementami stykowymi, wobec czego pod tym względem dobór materiału stykowego nie ma znaczenia, a sam zestyk nie wymaga gasika. W związku z powyższym do elementów stykowych można zastosować złoto lub stop PdAg, który jest tańszy niż złoto. Poza tym w przypadku zastosowania stopu obydwu elementy stykowe przekaźnika są z tego samego materiału.

Powyższe elementy stykowe są obciążone podobnie jak zestyki telefoniczne, wobec czego do wymaganego celu może być użyty przekaźnik telefoniczny. Nacisk stykowy powinien wynosić 20-30 G, a odskoki powinny być zmniejszone do minimum w celu przedłużenia czasu życia elementu stykowego.

W celu zabezpieczenia przed kurzem przekaźnik powinien mieć osłonę. Czas działania i zwalniania wybranych przekaźników powinien być możliwie mały.

Zestyki zminiaturyzowane

Innym przykładem może być przekaźnik sterujący bazę tranzystora umieszczonego na obwodzie drukowanym, pracujący przy prądzie stałym o napięciu 2 V. Przekaźnik pracuje w atmosferze przemysłowej, zawierającej mgłę soli i zanieczyszczoną gazami zawierającymi siarkę, tylko nieznacznie zanieczyszczoną kurzem, o niekontrolowanej wilgotności. Natężenie prądu przepływającego przez zestyki wynosi około 50 μ A.

Głównym zagadnieniem w przypadku powyższych zestyków jest utrzymanie małego oporu zestyku. Jeden z nich jest nieruchomy (obwód drukowany), a drugi - otwiera i zamyka obwód.

Pierwszy zestyk musi być odporny przeciw korozji i utlenianiu, aby opór zestyku był mały, poza tym zaś musi on być ze stosunkowo miękkiego materiału. Jakkolwiek srebro charakteryzuje się tymi własnościami, nie można go jednak zastosować do tego celu wskutek wytwarzania się siarczku srebra, który migruje między zwartymi zestykami i zwiększa ich opór. Dlatego też najlepsze do tego celu jest złoto, które wobec za małej twardości, powodującej zużycie zestyków wskutek wielokrotnego wkładania i wyjmowania w ciągu jego czasu życia, powinno mieć dodatek 8% srebra. Ponadto można stosować miedź jako podkład.

Zestyk ruchomy musi mieć te same własności jak zestyk stały, poza tym zaś musi on wytrzymywać możliwie duży nacisk stykowy, umożliwiając przebicie warstewek i osadów na zestyku. To z kolei wymaga materiału stykowego o większej twardości, na przykład stopu AuAgPt, który okazał się nadający do tego celu. Ponieważ jednak użycie powyższego stopu powoduje niesprawności spowodowane wytwarzaniem się brązowego osadu, lepsze zamiast niego jest srebro pod warunkiem hermetyzacji zestyku. Hermetyzacja uniemożliwia bowiem korozję i wytwarzanie się osadu siarczku, samo zaś srebro nie wytwarza osadu brązowego.

621.3.066.6

WPLYW ŚRODOWISKA OTOCZENIA NA ZESTYKI SŁABOPRĄDOWE

Tłumaczył C. Niewiadomski na podstawie artykułu: Gerber Th.: Umgebungsbedingte Einflüsse auf Schwachstromkontakte. Techn. Mitt. PTT, 1966, t. 44, z. 8, s. 3-19.

1. WSTĘP

W ostatnich latach zwrócono szczególną uwagę na wpływ wywierany na zestyki słaboprądowe przez czynniki zewnętrzne, które mogą powodować poważne niesprawności zestyków. Niesprawności te są wynikiem przede wszystkim stosowania tworzyw sztucznych, które mogą wywoływać wtórne zjawiska, powodujące uszkodzenia zestyków, jak również wynikiem coraz większego zanieczyszczenia atmosfery przez

kurz i gazy odlotowe z zakładów przemysłowych. Dlatego też już w wielu przypadkach trzeba było uwzględnić środki ochronne przeciw tym wpływom, poza tym zaś konserwacja tak narażonych zestyków narzuca nowe wymagania, a mianowicie stosowanie właściwych sposobów czyszczenia i substancji zabezpieczających zestyki.

Zainteresowanie wywołane tymi zagadnieniami uwidacznia się w konferencjach międzynarodowych na temat zestyków elektrycznych. W ostatnich latach konferencje na ten temat odbyły się w University of Maine, USA [1], w Tohoku University w Sendai, Japonia [2] i w 1964 r. w Technische Hochschule w Graz, Austria. Na tej ostatniej konferencji przedłożono 50 referatów, obecnie publikowanych, dotyczących badań podstawowych nad nowymi materiałami na zestyki, a także badań nad zestykami komutacyjnymi, ślizgowymi i stałymi [3], w których podczas dyskusji przewijało się ciągle zagadnienie wpływu wspomnianego na początku. Niniejszy artykuł reasumuje właśnie nowe zdobyte wiedzy z dziedziny zestyków przedstawione na konferencji w Graz.

2. WPLYW KURZU I KONSERWACJI ZESTYKÓW

Wpływ kurzu

Kurz zawiera przede wszystkim wszelkiego rodzaju cząsteczki nie przewodzące (włókna, łuskwinki substancji organicznych, włoski, ziarenka piasku i węgla itd.), które zwiększają opór przejścia lub powodują nawet całkowite przerwanie przepływu prądu. W zasadzie cząsteczki ku-

rze mogą powodować niesprawności tylko wtedy, jeżeli ich średnica jest większa niż 50 mikronów, natomiast cząsteczki mniejsze są nieszkodliwe, jeżeli nie są one zbite. Duże znaczenie ma przy tym wilgotność powietrza, ponieważ w przypadku zwiększania się wilgotności niesprawności zestyków spowodowane kurzem maleją. Wytwarzanie się kurzu oraz - w każdym razie - wirowanie kurzu są bowiem większe w powietrzu suchym niż wilgotnym, ponadto zaś przyjmuje się, że wilgoć zawarta w powietrzu wywiera bezpośredni wpływ na zachowanie się i własności kurzu.

Oddziaływanie kurzu zależy od wielu czynników, a mianowicie od własności charakterystycznych materiału zestyków, kształtu powierzchni styczek, obciążenia zestyków, ich ruchu oraz położenia styczek. I tak wpływ kurzu na styczki bliźniacze jest 10 do 100 razy mniejszy niż na styczki pojedyncze. Zestyki pracujące pod obciążeniem elektrycznym również zachowują się korzystniej niż zestyki rozwierające i zwierające w stanie nieobciążonym [4]. Tak więc narażone na niesprawności są również zestyki pracujące przy małych napięciach i natężeniach prądu, których samooczyszczanie nie jest zapewnione przez spalanie się cząsteczek kurzu.

Oddziaływanie kurzu zależy ponadto od chropowatości powierzchni styczek, ponieważ stwierdzono, iż wpływ kurzu zmniejsza się do połowy, jeżeli styczki mają powierzchnię nieco chropowatą, a nie dokładnie gładką. Wysokość nierówności powierzchni powinna odpowiadać prawie połowie średnicy cząsteczki kurzu [5].

W związku z powyższym nie jest celowe dążenie do ulepszenia w tym celu metod fabrykacyjnych oraz uzyskiwania coraz bardziej precyzyjnych i gładszych powierzchni styczek.

Czyszczenie mechaniczne

Styczki przekaźników z materiału miękkiego (na przykład srebra, srebra z powłoką złota, platyny) są szczególnie czułe na nieodpowiednie dla nich sposoby czyszczenia. Cząsteczki kurzu i ciał obcych, będących produktem niewłaściwego polerowania lub czyszczenia, łatwo wgniatają się bowiem w materiał styczek podczas czyszczenia.

W centralach szwajcarskich stosuje się jeszcze niekiedy nieodpowiednie mechaniczne sposoby czyszczenia [6], do których należy m.in. czyszczenie za pomocą krążków filcowych lub gumowych. Po takim czyszczeniu trzeba z kolei oczyszczać całe stojaki przekaźników przez zdmuchiwanie lub za pomocą odkurzacza, co samo już świadczy o niebezpieczeństwie czyszczenia tego rodzaju sposobami. Poza tym czyszczenia styczek srebrnych za pomocą krążków gumowych należy zaprzestać także z powodu możliwości znajdowania się w gumie siarki, w wyniku czego może wytwarzać się na powierzchni styczek warstwa siarczku srebra. Zgodnie z nową instrukcją czyszczenie styczek przekaźników w centralach telefonicznych¹⁾ takim niewłaści-

¹⁾ Okólnik Nr 333.91.1 z 13.11.1965 r. wydany przez Services des Télécommunications de la DG des PTT oraz Instrukcja Nr 704.31/X.65, Wydanie 3.

wym sposobem jest zabronione. Do czyszczenia styczek należy używać przyrządów (na przykład czystek) o twardości dostatecznej do usunięcia przylegających do styczek osadów i warstewek ciał obcych, albo też materiałów miękkich o własnościach adsorpcyjnych (na przykład irchy), umożliwiających usunięcie ciał obcych z powierzchni styczek podobnie do ścierki do kurzu.

Za częste i profilaktyczne czyszczenie styczek przekładników może być szkodliwe, podobnie jak jest zwłaszcza niewłaściwe czyszczenie niepełne i niedokładne. Badania przekładników w eksploatacji wykazują mianowicie, że działające bez zarzutu zestyki stają się nieużyteczne, gdy zostaną zmienione punkty metaliczne ich styku. Do nich należą najmniejsze zmiany wzajemnego położenia styczek albo przemieszczenia osadu, wytwarzającego się w wyniku spalania w postaci proszku o dużym rozdrobnieniu.

Odtłuszczenie

W przypadku styczek przekładników pracujących w normalnej atmosferze, a więc nie znajdujących się w atmosferze gazu ochronnego, za staranne odtłuszczenie styczek pogarsza, a nie polepsza ich jakość. Odtłuszczenie promieniami ultradźwiękowymi lub środkami odtłuszczającymi o dużej aktywności powoduje bowiem usunięcie ze styczek warstewek ochronnych, zwykle o własnościach smarnych, w wyniku czego wytwarza się powierzchnia o dużej aktywności, na której mogą powstawać różne warstewki powierzchniowe, o składzie zależnym od otaczają-

cej atmosfery [7]. W rezultacie opór przejścia styczek staje się większy i zmienny (zakłócenia w postaci szumów).

Tak więc, jeżeli z jakichkolwiek względów, na przykład po wyprodukowaniu, styczki są całkowicie odtłuszczone, trzeba następnie je posmarować tak delikatnie odpowiednim środkiem konserwacyjnym, aby warstewka jego była praktycznie niedostrzegalna, dzięki czemu nie powoduje ona żadnego szkodliwego wpływu.

Smarowanie

Może wydawać się paradoksem, że cienkie warstewki odpowiedniego smaru nie zwiększają oporu przejścia, lecz go zmniejszają i stabilizują. Idealny byłby oczywiście styk wyłącznie metaliczny, z oporem przejścia nie zakłóconym przez jakikolwiek inny czynnik, lecz takiego stanu idealnego nie można uzyskać w rzeczywistości. Nawet bowiem najczystsze metale szlachetne matowieją wskutek wytwarzania się na nich warstewek tlenków [8], przy czym już warstewki molekularne lub nieco tylko grubsze powodują przyrost oporu. Przyrost ten wprawdzie jest nadzwyczaj mały dzięki możliwości przepływu elektronów przez tak cienkie warstwy w wyniku efektu tunelowego mechaniki falowej oraz poza tym niezależny od chemizmu warstewek na styczkach.

Wytwarzania się warstewek ciał obcych o większej grubości na styczkach przekaźnika nie można zahamować bez przedsięwzięcia środków specjalnych (na przykład hermetyczne przekaźniki rurkowe, wypełnione gazem ochronnym).

Dlatego też, na przykład, styczki srebrne pokrywają się normalnie warstewkami ciał obcych, które należy uważać za grube zgodnie z uprzednim omówieniem. Jeszcze grubsze warstewki powstają, gdy po prostu tylko dotknie się styczek palcami.

W przypadku warstewek o grubości ponad $1 \cdot 10^{-5}$ mm następuje wydatny spadek napięcia przy przepływie prądu, który zależy od przewodności elektrycznej materiału warstewki. Dlatego też jest zawsze istotne, aby poprzez planowe konserwacje styczek dopuścić na nich tylko warstewki ochronne chemicznie stabilne. Szczególnie korzystne są warstewki monomolekularne, ponieważ cząsteczki polarne na powierzchni styczki są wtedy do niej prostopadłe, co przeciwdziała wpływom czynników zewnętrznych. Warstewki te pozostają nawet po zwarceniu zestyków i nie zwiększają wydatnie oporu przejścia, gdy grubość ich po zgnieceniu nie przekracza około 10^{-6} mm (9,10).

Warstewki substancji ochronnych, stosowanych do zestyków, powinny być możliwie jak najbardziej cienkie także z innego powodu. Warstewki te mogą być bowiem rozkładane przez łuki wytwarzające się między styczkami, wskutek czego powstają produkty zwęglenia w stanie stałym, gdy, na przykład, do smarowania użyto oleju mineralnego. Produkty te osadzają się oczywiście na powierzchni styczek i mogą w konsekwencji wydatnie zwiększać opór przejścia. Stosując duże ilości oleju, otrzymuje się w ten sposób efekt przeciwny do zamierzonego, poza tym zaś za gruba warstwa oleju staje się niebezpiecznym pochłaniaczem kurzu.

Środki do czyszczenia i zabezpieczania zestyków

Przy wyborze i stosowaniu środków do konserwacji zestyków przekaźników słaboprądowych trzeba zachowywać dużą ostrożność oraz nie używać z zasady środków nie wypróbowanych. Pewna ilość środków znajdujących się w handlu nadaje się przy tym tylko do zestyków ślizgowych, a nie nadaje się do zestyków przekaźników i zestyków stałych, dla których mogą one być nawet szkodliwe. Jednakże również zestyki ślizgowe mogą wykazywać niesprawności przy użyciu niektórych środków, a występujący wzrost napięcia szumu jest w takim przypadku jeszcze najmniejszym złem [11]. Tego rodzaju niewłaściwe środki były stosowane niestety w centralach telefonicznych [6].

Wiele substancji do czyszczenia styczek zawiera pochodne chlorowcowe węglowodorów, które dobrze oczyszczają (odtłuszczają) styczki. Administracja szwajcarska zabrania jednak stosowania tych substancji nie tylko ze względu na szkodliwość dla zdrowia, lecz zwłaszcza ze względu na ich rozkład pod wpływem światła z wytwarzaniem się chlorowodoru o działaniu korozyjnym [12]. Istotny przy tym jest właśnie ten rozkład substancji przechowywanej w butelce, a nie rozkład substancji w łuku powstającym między styczkami, ponieważ w łuku może wytworzyć się tak mała ilość chlorowodoru, która jeszcze nie jest szkodliwa.

Od niedawna znane są bardziej trwale pochodne chlorowcowe węglowodorów do czyszczenia zestyków, nazywane stabilizowanymi, odnośnie których istniejące zakazy mogą

być złagodzone. Do czasu jednak wydania nowego rozporządzenia w administracji szwajcarskiej można używać do czyszczenia styczek tylko substancji bezchlorowcowej, której głównym składnikiem jest olej wazelinowy²⁾, charakteryzującej się również innymi, dobrymi własnościami, jak na przykład rozpuszczaniem związków krzemorganicznych o małej lepkości, czyli olejów silikonowych, co jest szczególnie pożądanym, jak to wynika z rozdziału o wpływie silikonów. Badania laboratoryjne i eksploatacyjne wykazują wyraźnie, że powyższy środek do czyszczenia, użyty prawidłowo (w postaci bardzo cienkiej warstewki), polepsza w sposób trwały jakość styczek oraz zabezpiecza je przed czynnikami zewnętrznymi.

3. WPLYW ATMOSFERY ZEWNĘTRZNEJ

Stale zwiększające się zanieczyszczenie atmosfery gazami przemysłowymi itp. powoduje za granicą coraz częstsze niesprawności zestyków. I tak, na przykład, w niektórych rejonach przemysłowych Japonii zawartość siarkowodoru w powietrzu jest niekiedy tak duża, że stwarza ona poważne zagrożenie w eksploatacji central krzyżowych, ponieważ elementy stykowe ze stopów srebra ze złotem lub srebra z palladem pokrywają się warstewką tak dużej grubości, iż opór przejścia jest rzędu kilku

²⁾ Substancja ta zawiera 20% oleju wazelinowego o bardzo dużej czystości i 80% nafty oczyszczonej, bez zapachu (przypisek tłumacza).

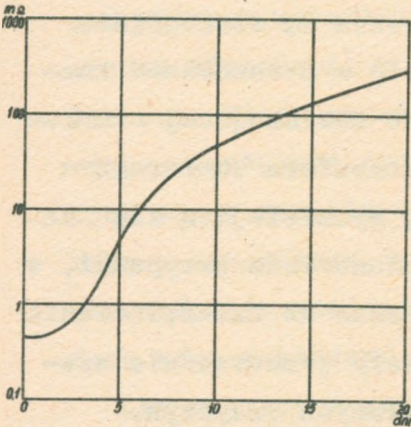
MΩ [13]. Właśnie dlatego liczne laboratoria prowadzą badania w dużej skali nad szkodliwymi wpływami atmosfery w celu opracowania materiałów stykowych możliwie jak najmniej wrażliwych na te wpływy.

Jest wiadomo, że styczki ze srebra są szczególnie czułe na siarkowodór, co wyraża się w powszechnie znanym czernieniu srebra w atmosferze zawierającej siarkowodór. Ponadto na srebro działa atmosfera zawierająca dwutlenek siarki lub parę siarki, wydzielającą się na przykład z gumy. I tak znane są mianowicie przypadki, w których uszczelki gumowe przeznaczone do zabezpieczania przekładników przed kurzem powodowały jednocześnie niesprawności przekładników ze wspomnianych przyczyn.

Stosunkowo rzadko występujący przykład istnienia i działania siarkowodoru stwierdzono ostatnio w dwóch centralach abonénckich, w których przyczyną tego były wykładziny podłogowe z tworzyw sztucznych, zawierające barwnik siarkowy. Wytwarzanie się siarkowodoru było z powodu niego tak duże, iż elementy central z brązu i srebra pokryły się grubą warstwą siarczku, co zmusiło do wymiany wykładzin. Szczęśliwie tego rodzaju przypadki są odosobnione i tylko jako takie powinny być traktowane [14].

Wpływ na styczki srebrne powietrza zanieczyszczonego siarkowodorem był badany szczególnie przez Hentscha [15], którego wyniki badań przedstawia rys. 1. Podczas powyższych badań styczki znajdowały się w atmosferze zawierającej $2 \cdot 10^{-6}$ części siarkowodoru, o temperaturze 20°C i wilgotności względnej 40%, a nacisk stykowy, wy-

noszący 20 G, nie przekraczał nacisków granicznych stosowanych w przekaźnikach. Z rysunku widać, że opór zwiększył się o trzy rzędy w ciągu 20 dni.



Rys. 1. Krzywa oporu przejścia stycek srebrnych w atmosferze zanieczyszczonej siarkowodorem

Siarczek srebra (Ag_2S), wytwarzający się w wyniku działania siarkowodoru na srebro, jest złym przewodnikiem elektryczności, a jego oporność elektryczna właściwa wynosi ponad $1000\Omega \cdot \text{cm}$. Pomimo tego cienkie warstewki siarczku nie są niebezpieczne na styckach przekaźnika, jeżeli stycki znajdują się podczas pracy pod obciążeniem. Pod wpływem łuku elektrycznego powstającego między styckami siarczek srebra rozkłada się bowiem, ponieważ temperatura jego rozkładu wynosi 300°C . Ponadto siarczek jest bardziej miękki niż srebro, wobec czego warstewki siarczku łatwiej są przebijane mechanicznie w czasie pracy zestyków, a prąd płynie dzięki temu przez miejsca, w których nie ma siarczku [16]. Natomiast do zestyków ślizgowych ze srebra trzeba odnosić się z dużą ostrożnością, ponieważ w przypadku zestyków wybieraków stwierdzono, iż zużycie elementów stykowych wsku-

tek wytwarzania się siarczku i małej twardości srebra może być bardzo duże [17].

Innym związkami, który może wytwarzać się na styckach srebrnych, jest azotan srebra (AgNO_3), powstający pod wpływem wyładowań elektrycznych (łuki elektryczne między styckami) w wyniku utleniania się azotu z powietrza. Niesprawności zestyków spowodowane azotanem srebra występują najczęściej w przekaźnikach znajdujących się w szczelnych osłonach, których zestyki nie pracują w atmosferze gazu ochronnego. Dlatego też badania przekaźników znajdujących się w szczelnych małych osłonach mogą zakończyć się fałszywymi wnioskami.

Aby wyczerpać zagadnienie, trzeba jeszcze wspomnieć o wpływie ozonu (O_3) na styckie ze srebra, który jest możliwy już przy temperaturze pokojowej. W wyniku działania ozonu powstaje tlenek srebra (Ag_2O) o bardzo dużej oporności właściwej, wynoszącej $5 \cdot 10^7 \Omega \cdot \text{cm}$, rozkładający się przy temperaturze ponad 170°C . Dzięki tak niskiej temperaturze rozkładu i małej twardości, ułatwiającej jego usuwanie mechaniczne, tlenek srebra nie powoduje jednak żadnych niesprawności zestyków.

Ozon, którego wytwarzanie się jest w zasadzie możliwe w łuku elektrycznym, może działać na materiały styckowe również za pośrednictwem innych reakcji chemicznych. I tak zachodzą pod wpływem ozonu różne niepożądane procesy utleniania i korozji, o których nowe wiadomości przyniosły badania przedsięwzięte na ten temat w Japonii [19].

Poza omówionymi nieco dokładniej na przykładzie sty-

czek ze srebra powyższymi wpływami inne wpływy może wywierać nawet normalna, czysta atmosfera. W pierwszej kolejności należy w tym miejscu wspomnieć o zjawisku utleniania tlenem z powietrza, które przebiega stosunkowo łatwo w przypadku drobnych opilek, wytwarzających się wskutek nieznacznych względem siebie ruchów elementów stykowych. Zjawisko to, nazywane utlenianiem wskutek tarcia lub bardziej ogólnie korozją wskutek tarcia, powoduje wytwarzanie się tlenków w postaci proszku, oznaczających się bardzo złą przewodnością elektryczną, które, dostając się między elementy stykowe, zwiększają opór przejścia.

Znacznie mniej wiadomo, że tlen powoduje nieznaczną migrację na zestykach obciążonych elektrycznie. Przeciwnie, brak tlenu zmienia kierunek migracji na styczkach z platyny [20].

Wspomnieć wreszcie należy dobrze znany fakt znacznego wpływu wilgotności powietrza na jakość zestyków. Z doświadczenia wiadomo mianowicie, że wilgotność względna powietrza w centralach telefonicznych powinna wahać się w granicach 40-70%. Gdy bowiem wilgotność jest za mała, zwiększa się opór zestyków i zwłaszcza szumy zakłócające, a gdy ona jest za duża, trzeba wtedy zwiększać prąd omywania [21]. Sposób, w jaki wpływa wilgoć powietrza, nie jest bynajmniej wyświetlony, jakkolwiek jest pewne, że poza korzystnym wpływem na zmniejszenie kurzu, o czym już wspomniano, wywiera ona wpływ także na inne czynniki. I tak dla styczek srebrnych pracujących w określonych warunkach elektrycznych ustalono, że

prądy graniczne, poniżej których nie wytwarza się łuk elektryczny, stają się coraz większe w miarę wzrostu zawartości wilgoci w powietrzu [22].

4. WPLYW PAR SUBSTANCJI ORGANICZNYCH

Wydzielanie się i adsorpcja par substancji organicznych

Pierwsze systematyczne obserwacje, które umożliwiły stwierdzenie szkodliwego wpływu par substancji organicznych na zestyki elektryczne, zostały przeprowadzone w 1945 r. Zjawiska związane z tym wpływem były badane bardzo intensywnie w ciągu następnych 20 lat, w których zasadnicze wiadomości na ten temat przyniosły głównie prace przeprowadzane w laboratoriach firmy Bell - USA.

Zanieczyszczenia atmosfery, interesujące pod względem zagadnień związanych z zestykami, pochodzą zwykle z tworzyw sztucznych, a zwłaszcza z materiałów izolacyjnych przekaźników, ich obudów oraz izolacji przewodów, znajdujących się w bezpośredniej bliskości lub w pewnym oddaleniu od zestyków. Paradoksalne jest przy tym, że pierwsze wypadki niesprawności stwierdzono u zestyków przekaźników z osłonami, jakkolwiek właśnie te osłony miały zabezpieczyć przekaźniki przed niesprawnościami, przy czym w następstwie wykazano, że osłony z tworzyw sztucznych, użyte do zabezpieczenia zestyków, wydzielają pary substancji organicznych.

Przekaźniki i przewody o izolacji z polwinitu stosowane w szwajcarskich centralach telefonicznych wydzielają pary substancji organicznych, co można było stwier-

dzić w przypadku przekładników przez umieszczenie kilku cewek przekładników w wąskiej rurze ze szkła, gdzie je podgrzewano, przepuszczając prąd, w wyniku czego temperatura uzwojeń zwiększała się z 30° do 60°C. Mimo bardzo słabej wentylacji (0,1 l/godz) na chłodnych ściankach szklanej rury skraplały i osadzały się jasne, bezbarwne substancje organiczne. Substancje te mogły pochodzić z wydzielania się par z impregnowanych olejem rdzeni stalowych, warstwy lakieru drutu emaliowanego (mało prawdopodobne), korpusów cewek, papieru izolacyjnego lub ceratki jedwabnej olejowej. Podobnie można było zaobserwować wydzielanie się substancji lotnych z przewodów o izolacji polwinitowej, które wydzielają substancje osadzające się na ściance rury w postaci kropelek barwy jasnożółtej i konsystencji oleistej.

W obydwu tych doświadczeniach powietrze przepuszczane przez rurę szklaną wprowadzano następnie do naczyń, w których pracowały zestyki obciążone elektrycznie. W żadnym z tych doświadczeń nie zaobserwowano niesprawności zestyków, czemu sprzyjało z pewnością zastosowanie słabej wymiany powietrza.

Obecnie znana jest duża liczba substancji organicznych, których pary oddziałują szkodliwie na zestyki. Znane są także materiały stykowe wrażliwe na działanie tych par [23,24,25]. Tym niemniej całkowite wykorzystanie w praktyce powyższych danych sprawia pewne trudności.

Konieczny w związku z powyższym okazał się staranny dobór materiałów stosowanych w centralach telefonicznych,

przy czym dobór ten dotyczy również farb do malowania ścian i materiałów podłóg stosowanych w centralach. Dlatego też nowe przepisy eksploatacji i projektowania central telefonicznych³⁾ ustalają, iż do malowania ścian i sufitów można używać tylko farb emulsyjnych (to znaczy farb nie zawierających rozpuszczalników organicznych), a do podłóg - tylko parkietów (nie wolno stosować wykładzin z polichlorku winylu), które można zmywać jedynie wodą z mydłem⁴⁾. Ponadto, w celu znacznego zmniejszenia wpływu par substancji organicznych, należy zapewnić dostateczną wentylację urządzeń i instalacji narażonych na wpływ par.

Aby pary mogły działać na styczki, muszą one być zaadsorbowane na ich powierzchni, co zachodzi bardzo łatwo na styczkach z niektórymi metali szlachetnych, odznaczających się adsorpcją chemiczną drobin par. W rezultacie wytwarzają się zaadsorbowane warstewki o grubości będącej krotnością średnicy drobin, które mogą powodować najróżniejsze reakcje z utworzeniem związków chemicznych, przekształcanych lub rozkładających się następnie na powierzchni styczek.

Powstawanie związków chemicznych

W przypadku styczek z wolframu stwierdzono, że pary niektórych substancji organicznych, między innymi pla-

3) Wydanie tymczasowe z 1965 r. PTT Nr 704.70.

4) Okólnik w sprawie środków do czyszczenia PN⁰3, TN⁰ 731 z 12.2.1964 r.

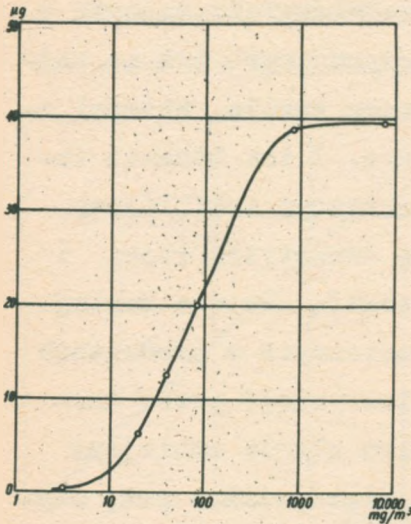
styfikatorów (na przykład dwufenyloftalanu i dwubutyloftalanu), reagują bezpośrednio z wolframem. Jest to więc zjawisko korozji, która rozwija się bardzo szybko przy podwyższonej temperaturze i dużej wilgotności powietrza z utworzeniem warstewek elektroizolacyjnych [26].

Innym zjawiskiem jest samorzutna polimeryzacja zaadsorbowanych par, przebiegająca bez wpływu na nią jakichkolwiek czynników mechanicznych lub elektrycznych, charakteryzująca się łączeniem się zaadsorbowanych drobin w nowe substancje, przeważnie oleiste. Reakcje te zachodzą zwłaszcza na platynowcach, to znaczy na platynie, irydzie i palladzie, a poza tym także na złocie, jakkolwiek łączenie się drobin na nim zachodzi ze znacznie mniejszą szybkością. Do takiej polimeryzacji samorzutnej są podatne pary węglowodorów, pary z przesyconego papieru izolacyjnego oraz pary z izolacji przewodów, jak również z wykładzin podłogowych oraz środków do konserwacji podłóg 27 .

Inną możliwością jest polimeryzacja przez tarcie, przebiegająca przy pracy zestyków nie obciążonych elektrycznie z przekształceniem zaabsorbowanych substancji organicznych w substancje elektroizolacyjne w postaci proszku. Taką substancją jest tzw. brunatny proszek, stwierdzony w laboratoriach firmy Bell i mający bardzo złą reputację, który był najlepszym dowodem istnienia polimeryzacji przez tarcie. Zjawisko to także występuje najaktywniej na platynowcach, podczas gdy na srebrze i złocie prawie ono nie występuje. Spośród związków organicznych polimeryzację taką powodują węglowodo-

ry alifatyczne i aromatyczne oraz ich pochodne (aldehydy, ketony, aminy, fenole), a zwłaszcza benzen, toluen, terpentyna, styren i substancje podobne [23]. Wydajność produktów polimeryzacji zwiększa się przeważnie w miarę wzrostu długości łańcucha cząsteczek i jest większa u węglowodorów aromatycznych niż węglowodorów alifatycznych. Poza tym zależy ona od stężenia par substancji organicznych.

Przebieg polimeryzacji przez tarcie wskutek działania par benzenu podano na rys. 2, który przedstawia wy-



Rys. 2. Zależność wydajności polimeryzacji przez tarcie na elementach stykowych z palladu od stężenia pary benzenu

niki otrzymane w laboratoriach firmy Bell dla elementów stykowych z palladu. Nacisk stykowy wynosił 30 G, a liczba posuwów z tarcieniem $4 \cdot 10^6$ przy częstotliwości 6 posuwów w dwóch przeciwnych kierunkach na sekundę.

Wyraźne powstawanie proszku zaczynało się już przy małym stężeniu benzenu, wynoszącym 10 mg/m^3 powietrza, przy czym analizy chemiczne wykazały, że w skład pro-

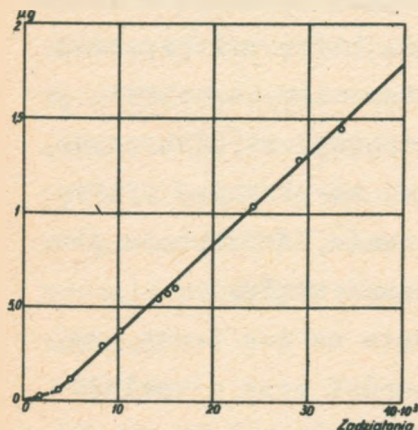
szku wchodzą różne bezpostaciowe związki organiczne o zwiększonym ciężarze cząsteczkowym. Pierścienie aromatyczne polimeryzowały z grupami olefinowymi i karbonylowymi w cząsteczki o długim łańcuchu oraz wytwarzały jednocześnie wiązania tlenowe.

Zagadnienie polimeryzacji przez tarcie jest ciągle jeszcze aktualne dla przekaźników umieszczonych w szczelnych osłonach, ponieważ nawet przy najlepszym doborze elementów z tworzyw sztucznych w przekaźniku nie można nigdy całkowicie uniknąć wydzielania się par substancji organicznych. Dlatego też przedsięwzięto badania w celu znalezienia inhibitorów zatrzymujących lub co najmniej hamujących polimeryzację przez tarcie, którymi okazały się związki metaloorganiczne. I tak badania laboratoryjne wykazały, że bardzo aktywnym inhibitorem jest czteroetylek ołowiu, a także dwumetylek rtęci i czteroetylek cyny. Związki te powodują znaczne zmniejszenie zawartości substancji organicznych w produktach aglomerujących się podczas polimeryzacji przez tarcie, która przy użyciu czteroetylku ołowiu zmniejsza się z 90% do 1% [28]. Wydaje się więc możliwe przy użyciu pary właściwej substancji organicznej wytworzenie takiej atmosfery ochronnej, która wyeliminowałaby przy najmniej częściowo szkodliwy wpływ atmosfery zanieczyszczonej parą tworzyw sztucznych.

Rozkład związków chemicznych

Poza polimeryzacją substancji organicznych należy rozpatrzyć także ich rozkład, ponieważ zjawisko to mo-

że mieć również bardzo niekorzystny wpływ, uwidaczniający się w aktywacji styczek. Na powierzchni styczek wytwarza się wskutek rozkładu osad węgla lub produktów koksowania, wpływający niekorzystnie na procesy przebiegające podczas pracy styczek obciążonych elektrycznie wskutek wywoływania powstawania tak zwanych łuków katodowych. Zużycie, czyli zmiany, styczek przez łuk elektryczny są wtedy stokrotnie większe niż styczek nie aktywowanych, poza tym zaś opór przejścia zwiększa się wydatnie z powodu złej przewodności elektrycznej osadów na styczkach. Opór ten może osiągnąć wartość kilku setek omów lub kilku megaomów.



Rys. 3. Wytwarzanie się węgla w wyniku rozkładu pary benzenu przez styczki obciążone elektrycznie

Aktywacja styczek była dokładnie zbadana również przez laboratoria firmy Bell [29], których wyniki przedstawia rys.3, uwidaczniający przebieg wytwarzania się węgla⁵⁾

⁵⁾ Według analiz wykonanych w laboratoriach firmy Bell wytwarzający się czarny proszek zawiera co najwyżej dwa atomy wodoru na 15 atomów węgla, wobec czego proszek ten można uważać za węgiel.

na styczkach z platyny pracujących w atmosferze benzenu. Wytwarzanie się węgla jest w szerokim zakresie niezależne od prężności cząstkowej benzenu, gdyż do rozkładu przez łuk wytwarzający się między styczkami wystarcza, aby drobiny benzenu zostały tylko zaadsorbowane na powierzchni styczek. Natomiast częstotliwość zaszczepień i energia łuku mają istotne znaczenie, jak to wynika z rys. 3, z którego widać, że z chwilą nastąpienia aktywacji (linia przerywana) ilość utworzonego węgla zwiększa się proporcjonalnie do liczby zaszczepień zestyku.

Ponieważ przed rozkładem musi zajść najpierw adsorpcja pary, wytwarzanie się osadu węgla powodują w istocie te same substancje organiczne, które polimeryzują przez tarcie. To samo dotyczy materiałów stykowych, ponieważ najbardziej podatne do aktywacji są platynowe, jakkolwiek inne metale szlachetne, na przykład srebro stosowane często na styczki, są także narażone na niebezpieczeństwo wytwarzania się osadu węgla.

Badania przedsięwzięte w Europie na ten temat przyczyniły się do pogłębienia wiadomości oraz uzupełnienia listy materiałów podatnych do aktywacji i szkodliwych substancji organicznych [24,25,30]. Niektóre analizy wykazały przy tym, że wskutek rozkładu substancji organicznych nie zawsze wytwarza się węgiel, zamiast którego mogą powstawać produkty pośrednie w postaci sadzy, będące złymi przewodnikami prądu, jak produkty krakowania lub koksowania. Takie wnioski wynikają z zawartości wodoru w tych produktach [31].

Ostatnio przeprowadzone badania laboratoryjne potwierdziły między innymi, iż pary substancji wydzielające się z przekaźników używanych w centralach telefonicznych są adsorbowane przez stycзки i następnie rozkładane. Do badań tych użyto różnych, gotowych przekaźników, które zainstalowano w naczyniach o pojemności około 10 l, przy czym w równoległe przeprowadzanych badaniach uniemożliwiano reagowanie wydzielających się par przez umieszczenie w naczyniu węgla aktywowanego w ilości 30 g, rozsypanego na powierzchni 50 cm², umożliwiającego całkowite zaadsorbowanie par substancji organicznych nawet w przypadku znajdowania się ich w małym stężeniu. Pozostałe warunki badań przekaźników, a właściwie ich styczek, odpowiadały warunkom pracy przekaźników w eksploatacji i były następujące: napięcie zasilania prądem stałym 48 V, obciążenie (indukcyjne) styczki 48 mA, ograniczenie natężenia prądu i indukcyjności - przez cewkę przekaźnika o oporze 1000Ω, czas trwania zamknięcia zestyku i czas trwania otwarcia zestyku - 20 sek, materiał styczek - srebro.

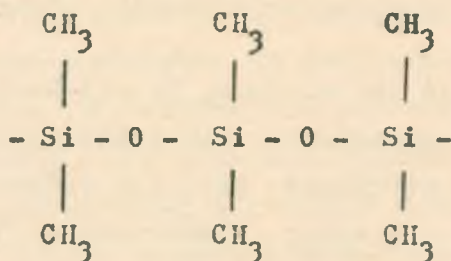
5. WPLYW SUBSTANCJI KRZEMOORGANICZNYCH (SILIKONÓW)

Ponad dziesięć lat już wiadomo, że silikony, a właściwie produkty ich przemian w łuku elektrycznym wytwarzającym się między styczkami, mogą tak wpływać na zestyki, iż stają się one nawet nieużyteczne [31,33]. Po wyższy wpływ silikonów, częściowo występujący w postaci bardzo nieprzyjemnej, zaobserwowano najpierw we Francji

i NRF, następnie w Szwajcarii i ostatnio w Szwecji [34].

Wpływ silikonów nie został jednak prawdopodobnie rozreznany początkowo. I tak zamiast nich obciążano szkodliwym wpływem elementy z bakelitu, którym przypisywano wydzielanie się par powodujących niesprawności zestyków, co przy obecnym stanie wiedzy wydaje się dziwne, ponieważ mimo stosowania w teletechnice przez dziesiątki lat w olbrzymiej ilości wyrobów z bakelitu nie stwierdzono istotnie szkodliwego wpływu tych wyrobów na zestyki. Ostatnie analizy potwierdzają, że elementy bakelitowe nie powodują jakichkolwiek niesprawności zestyków, na które mogą działać w rzeczywistości tylko silikony stosowane dla ułatwienia opróżniania form, których ślady pozostają na powierzchni wyprasek bakelitowych.

Silikony są to związki chemiczne o szkielecie z atomów krzemu i tlenu, w których wolne wartościowości atomów krzemu są wysyczone przez rodniki węglowodorowe. Oleje silikonowe, szczególnie interesujące w danym przypadku, są to związki spolimeryzowane o łańcuchu liniowym i poniższym wzorze strukturalnym (dotyczącym metylosilikonów)



Kauczuki i żywice silikonowe mają natomiast łańcuchy mniej lub więcej usieciowane w postaci pierścieni.

Duża popularność i wzrastające użycie silikonów są wynikiem znacznej liczby ich korzystnych własności, gdyż silikony są ciepłoodporne, odporne na wodę, nie powodujące korozji oraz odporne na liczne substancje chemiczne. Silikony mogą być produkowane w postaci olejów, substancji mazistych, lakierów, kauczuków i żywic, z których oleje są cieczami bezbarwnymi, obojętnymi i bez zapachu. Oleje o najmniejszej lepkości rozpuszczają się w rozpuszczalnikach.

Poza smarami ułatwiającymi wyjmowanie z form silikonu znalazły jeszcze inne, szerokie zastosowanie w technice. Ponadto stały się one niezbędne jako surowce wyjściowe do produkcji wyrobów kosmetycznych (krem do rąk, środki pielęgnacji twarzy i włosów), środków konserwacji samochodów itd.

Bardzo cienkie warstewki oleju silikonowego na styczkach znajdujących się w spoczynku nie wpływają na jakość styku, podobnie jak warstewki dowolnego innego oleju. Zachowanie ich zmienia się jednak pod wpływem efektu cieplnego łuków elektrycznych wytwarzających się między stycznymi, w których silikony rozkładają się wskutek utleniania tlenem powietrza. Utlenianiu podlegają najpierw rodniki węglowodorowe, na przykład rodniki CH_3 , reagujące z tlenem z utworzeniem ich pochodnych, które są substancjami lotnymi, nie oddziałującymi prawie wcale na styckie. Usunięcie wskutek utleniania rodników węglowodorowych jest związane jednak z wytwarzaniem nowych wiązań siloksanowych (Si-O-Si) i mostków etylenowych ($-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$), które powodują wytwarzanie się silikonów częściowo usie-

ciowanych [35], mających postać nie oleju, lecz kauczuku albo żywicy. Szkodliwy wpływ tego rodzaju produktów na styczki przekaźników jest oczywisty.

Jeżeli wskutek obciążenia cieplnego temperatura zwiększy się ponad 400°C , osiąga ona wtedy temperaturę rozkładu silikonów. Produkt rozkładu - krzemionka (SiO_2) jest produktem trwałym i doskonałym materiałem elektroizolacyjnym (kwarc), o oporności właściwej, w przypadku cienkich warstewek, wynoszącej $10^{16} \Omega \cdot \text{cm}$ [36].

Warstewki krzemionki wytwarzają się nie tylko na styczkach przekaźnika, lecz również na obciążonych elektrycznie zestykach ślizgowych. Stwierdzono przy tym, że warstewki te pozostają niezniszczone nawet przy naciskach stykowych do 500 G, a ich przebicie następuje dopiero przy omywaniu prądem o napięciu około 10 kV [17].

Oleje silikonowe mają małe napięcie powierzchniowe, wskutek czego są one podatne do rozplywania się i przemieszczania, a warstwy silikonów odnawiają się na styczkach po usunięciu ich przy czyszczeniu lub po zniszczeniu przez łuk wytwarzający się między styczkami. W rezultacie po pewnym czasie mogą ponownie utworzyć się warstewki elektroizolacyjne krzemionki, gdy istnieje w pobliżu styczek możliwość zasilania w silikonu. Takie zasilanie mogą stanowić na przykład uprzednio wspomniane warstewki silikonów znajdujące się na wypraskach.

Gdy na styczkach wskutek przemian silikonów utworzy się krzemionka, nie można jej usunąć żadnym normalnie stosowanym środkiem do czyszczenia. W związku z powyższym pozostaje tylko zniszczenie mechaniczne twardej war-

stewki krzemionki, usunięcie jej odłamków i uważanie, aby następnie nie wytworzyła się ponownie warstewka oleju silikonowego. Tak więc skuteczna walka przeciw zanieczyszczeniu styczek silikonami polega na usuwaniu twardej warstewki izolacyjnej i zapobieganiu przed dostawaniem się silikonów na styczki, do czego można stosować substancje szczególnie czynne, będące pewnego rodzaju barierą.

Ponieważ silikony lub produkty ich reakcji znajdują się na styczkach w bardzo małych ilościach, bezpośrednio wykazanie ich obecności sprawia dużo trudności. Dlatego też wpływ silikonów można wykazać przeważnie tylko pośrednio. I tak, jeżeli na styczkach o dużym oporze przejścia nie widzi się pod lupą czarnego osadu albo innych substancji w postaci proszku oraz jeżeli nie wchodzi w rachubę wpływ kurzu, zużycie styczek wskutek erozji albo zła konserwacja zestyków, należy wówczas uznać silikony za przyczynę dużego oporu przejścia [34].

Zestyki w centralach telefonicznych, których niesprawności należy przypisywać wpływom silikonów, mogą być z powodzeniem naprawione. Poza tym podczas produkcji przekaźników są stosowane środki uniemożliwiające wpływ silikonów, wobec czego niebezpieczeństwo, które przedstawiają silikony z tej strony, może być uważane za usunięte. Istnieje natomiast ukryte niebezpieczeństwo nieświadomego wnoszenia do central produktów wyrabianych z silikonów, a mianowicie różnych maści, past i kremów do pielęgnowania rąk i twarzy, których warstewki są pozostawiane nieświadomie na zestykach i przekaźnikach przez

personel centrali. W niektórych krajach fabryki urządzeń telefonicznych dają darmowo swojemu personelowi kremy do pielęgnowania rąk, nie zawierające silikonów, aby nie stosował on środków nie kontrolowanych, mogących zawierać silikony.

6. WNIOSKI

Zwracając specjalną uwagę na dane ważne dla praktyki, można w poniższy sposób zreasumować rozważania uprzednio przeprowadzone na temat szkodliwych wpływów atmosfery otoczenia na zestyki przekaźników.

Czyszczenie zestyków musi być przeprowadzane za pomocą wypróbowanych środków do czyszczenia i ochrony, przy czym nieumotywowane czyszczenie oraz niewłaściwe sposoby czyszczenia mechanicznego mogą mieć szkodliwe skutki. Środek do czyszczenia stosowany przez administrację szwajcarską jest doskonały przy prawidłowym używaniu nawet wtedy, gdy jest wskazane profilaktyczne zabezpieczenie zestyków narażonych na wpływ silikonów.

W szwajcarskich centralach telefonicznych nie stwierdzono dotąd poważnych niesprawności zestyków, które można byłoby przypisać szkodliwemu wpływowi atmosfery zewnętrznej. Tym niemniej, ze względów ostrożności, zagadnieniu temu należy poświęcać dostateczną uwagę.

Uwagę należy poświęcać również szkodliwemu wpływowi wywieranemu na zestyki przez pary tworzyw sztucznych. W centralach znajdują się bowiem oczywiście różne elementy i materiały, jak przekaźniki, przewody o izolacji

z polwinitu, wykładziny podłogowe itp., wydzielające pary organiczne, które mogą powodować szkodliwą aktywację styczek. Do usunięcia tego niebezpieczeństwa niezbędny jest właściwy dobór stosowanych tworzyw sztucznych oraz wystarczająca wentylacja urządzeń i instalacji.

Silikony są niebezpiecznym źródłem powstawania warstewek obcych na styczkach. Warstewki te mogą pochodzić, na przykład, z wyprasek z tworzyw sztucznych, gdy w celu ułatwienia ich wyjmowania formy smaruje się olejem silikonowym. Poza tym istnieje niebezpieczeństwo przedostawania się silikonów do hal produkcyjnych i central telefonicznych z wyrobów kosmetycznych.

Warstewki wytwarzające się z silikonów na styczkach mają bardzo dobre własności elektroizolacyjne, a styczki oczyszczone z nich stają się ponownie podatne do niesprawności ze względu na skłonność olejów silikonowych do rozplływania się, co zmusza do przedsięwzięcia wszelkich środków do usuwania od początku silikonów z zestyków przekaźników.

WYKAZ LITERATURY

1. Proceedings of the International Research Symposium on Electric Contact Phenomena, November 1961. The University of Maine, College of Technology, Orono/Maine.
2. Proceedings of International Conference on Electromagnetic Relays, October 1963. Memorial Hall of Tohoku University, Sendai, Japan.

3. Vorträge 2. Internationale Tagung über elektrische Kontakte. Graz, Osterreich, Mai 1964. Wydawn. P. Klaudy.
4. Keefer H.J.: Dust on relay contacts, Bell Labor. Record t. 35, 1957, s. 25.
5. Williamson J.B.P., Greenwood J.A., Harris J.: The influence of dust particles on the contacts of solids. Proceed. Roy. Soc. London, 237 A, 1956, s.560.
6. Interner Bericht Nr 6404 vom 18.9.1964 der Telephon- und Telegraphenabteilung GD PTT.
7. Halström H.L.: Some comments on the tarnishing of silver contacts, Teletechnik, 1960, wyd. 4, nr 2, s. 29.
8. Raub E.: Anlaufvorgänge bei Edelmetallen und ihre Vermeidung. Passivierende Filme und Deckschichten. Pod redakcją H. Fischer, H. Hauffe, W. Wiederholt. Wydawn. Springer Verlag 1956, s. 289.
9. Kappler E., Rüdhardt E., Schläfer R.: Kontaktwiderstand in Abhängigkeit von der Kontaktlast, Ztschr. angew. Physik 1950, t. 2, nr 8, s. 22.
10. Abbott W.H., Ogden H.R.: Electrical contact materials in low current technology. Battelle Techn. Rev. 1965, t. 14, nr 3, s. 17.
11. Interner Bericht Nr 34.043 vom 20.8.1962 der Abteilung Forschung und Versuche, GD PTT.

12. Interner Bericht Nr 12.1534 vom 4.9.1958 der Abteilung Forschung und Versuche, GD PTT.
13. Mano K.: Some investigations of electrical contact in Japan, vide [3].
14. Interner Bericht Nr 12.2111 vom 3.5.1965 der Abteilung Forschung und Versuche, GD PTT.
15. Hentsch A.: Untersuchungen über den Widerstand von sulfidierten Kontakten aus Silber und Silberlegierungen. Elektrisch 1962, nr 7, s. 234.
16. Holm R.: Electrical Contacts Handbook. Springer-Verlag, 3 - Edition, 1958.
17. Schlögl E.: Der unedle Schleifkontakt bei Schrittschaltwerken, vide [3].
18. Aoyama Y.: Silbernitrat als Korrosionsprodukt auf Kontakten. Naturwissenschaften 1962, t. 49, s. 231.
19. Yamamoto M., Iwamoto S.: Some severe corrosion phenomena on enclosed small switches, vide [2], s.75.
20. Holm E., Holm R.: Die Stoffwanderung in Abhebekontakten aus Silber und Platin, Ztschr. angew., Physik 1954, t. 6, nr 8, s. 352.
21. Langer M.: Geräusche in den Verbindungen der Fernsprechämter und ihre Beseitigung, Carl Marhold Halle/Saale, 1948.
22. Keil A.: Werkstoffe für elektrische Kontakte. Springer Verlag, Berlin, 1960, s. 260.

23. Hermance F.E., Egan T.F.: Organic deposits on precious metal contacts. Bell Syst. Techn. J. 1958, t. 37, s. 739.
24. Tlamsa J., Nuszberger J.: Über die Wirkung organischer Dämpfe auf Kontaktwerkstoffe in der Fernmeldetechnik. Nachrichtentechnik 1963, t. 13, nr 7, s. 272.
25. Lipke H., Clement W.: Untersuchungen über die Einwirkung einiger Werkstoffe der Amtsbauertechnik auf silber- und palladiumhaltige Kontaktwerkstoffe. NTZ 1960, nr 9, s. 431.
26. Keil A.: Eine spezifische Korrosionserscheinung an Wolframkontakten. Werkstoffe und Korrosion 1952, t. 3, s. 263.
27. Chaikin S.W.: Mechanics of electrical-contact failure caused by surface contamination. Electro-Technology 1961, t. 68, nr 2, s. 70.
28. Chaikin S.W.: Inhibition of frictional polymer formation on rubbing contacts, vide [2], s. 78.
29. Germer L.H., Smith J.L.: Activation of electrical contacts by organic vapors. Bell System Techn. J. 1957, t. 36, s. 769.
30. Dietrich I., Honrath-Barkhausen M. Zur Bildung widerstandserhöhender Beläge organischen Ursprungs auf elektrischen Kontakten. Ztschr. angew. Physik 1959, t. 11, nr 10, s. 399.

31. Gerber Th.: Isolierende Kohlenstoffhaltige Deckschichten an Relaiskontakten. Techn. Mitt. PTT 1959, t. 37, nr 8, s. 283.
32. Mauch H.: Bestimmung des Dampfdruckes von Weichmachungsmitteln und Isolierung von Weimacherdämpfen aus der Luft. Techn. Mitt. PTT 1960, t. 38, nr 4, s. 143.
33. Keil A.: Das elektrische Kontakt als Gegenstand der Forschung und eines internationalen Erfahrungsaustausches. Bull. SEV 1964, t. 55, nr 2, s. 51.
34. Noll W.: Über Zusammenhänge zwischen Konstitution, Eigenschaften und Anwendungen von Siliconen. Chimia 1962, t. 16, nr 8, s. 245.
35. Atalla M.M., Tannenbaum E., Scheibner E.J.: Stabilisation of silicon surfaces by thermally grown oxides. Bell. Syst. Techn. J. 1959, t. 38, s. 749.

