

1 9 6 4
Nr 1 (10)

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI
WARSZAWA — MIEDZESZYN

PROBLEMY ŁĄCZNOŚCI



MINISTERSTWO ŁĄCZNOŚCI

PROBLEMY ŁĄCZNOŚCI

ROK 4

WARSZAWA 1964

NR 1/10/

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI

Ośrodek Informacji Techniczno-Ekonomicznej

Kolegium Redakcyjne:

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

Członkowie:

inż. Edmund Janowski, prof. Stefan Jasiński,
mgr Kazimierz Kotowski, mgr inż. Adam Moniuszko,
mgr inż. Józef Możejko

Sekretarz Redakcji: Irena Kulko

Adres Redakcji:

Instytut Łączności

Ośrodek

Informacji Techniczno-Ekonomicznej

Warszawa-Miedzeszyn, ul. Szachowa 1

NA PRAWACH REKOPISU - DO UŻYTKU SŁUŻBOWEGO

Redaktor: J. Borkowska

Montaż tekstu: B. Drabik

Dział Wydawniczy OKW Instytutu Łączności
Format B5. Nakład 570. Druk ukończono
w lipcu 1964 r.

PROBLEMY ŁĄCZNOŚCI

SPIS TREŚCI

| | Str. |
|---|------|
| C. Niewiadomski - Zagadnienia materiałów stykowych urządzeń teletechniki łączeniowej. | 1 |

ZAGADNIENIA MATERIAŁÓW STYKOWYCH URZĄDZEŃ TELETECHNIKI ŁĄCZENIOWEJ

1. ZNACZENIE ZESTYKÓW URZĄDZEŃ TELETECHNIKI ŁĄCZENIOWEJ

Urządzenia teletechniki łączeniowej składają się w przeważającej mierze z elementów łączeniowych, przede wszystkim z przekaźników i wybieraków, podczas gdy pozostałe elementy, jak oporniki, kondensatory i inne, występują w nich w mniejszej ilości. Dlatego też prawidłowość i pewność działania urządzeń teletechniki łączeniowej zależą w pierwszym rzędzie od prawidłowości i pewności działania elementów łączeniowych, a zwłaszcza ich zestyków rozłącznych /dotykowych lub ślizgowych/, których z kolei najbardziej odpowiedzialnymi częściami są elementy z materiałów stykowych.

Znaczenie zestyków zwiększa się stale wobec ciągle wzrastającej automatyzacji urządzeń teletechniki łączeniowej, w wyniku której zwiększa się coraz bardziej ogólna liczba zestyków w tych urządzeniach. Poza tym w miarę postępu i rozwoju automatyzacji zwiększa się coraz bardziej liczba zestyków biorących udział w tworzeniu poszczególnego połączenia, co widać z tabl. 1, w

T a b l i c a 1

Przeciętna liczba zestyków przypadająca na jednego abonenta
w automatycznych centralach telefonicznych

| Rodzaj łącznicy | Liczba numerów w łącznicy | | | | | | | | |
|-----------------------------|---------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---|
| | 10 | | 100 | | 1000 | | 10000 | | |
| | doty- kowe | śliz- gowe | doty- kowe | śliz- gowe | doty- kowe | śliz- gowe | doty- kowe | śliz- gowe | |
| Rodzaj zestyków | | | | | | | | | |
| Przekańni- kowa | 42 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Abonentowa z wybierakami | 16 | 16 | - | - | - | - | - | - | - |
| Miejska | - | - | 13,7 | 48 | 23,4 | 100 | 29 | 140 | |

której podano przykładowo przeciętną liczbę zestyków przypadającą na jednego abonenta w niektórych automatycznych łącznicach telefonicznych [1]. Z tablicy tej wynika, że łącznica 1000-numerowa ma przeciętnie 123400 zestyków, a łącznica 10000-numerowa - 1690000 zestyków, gdyby więc każdy zestyk zadziałał błędnie tylko raz w ciągu 10 lat, wtedy przy równomiernym rozkładzie błędnych zdarzeń w czasie wypadłoby 3^4 takich zdarzeń dziennie w łącznicy 1000-numerowej i 46^4 błędnych zdarzeń w łącznicy 10000-numerowej. W praktyce rozkład błędnych zdarzeń lub uszkodzeń nie jest jednakże równomierny, co stwarza jeszcze bardziej niekorzystne warunki.

Błędne zadziałania i uszkodzenia zestyków powodują zakłócenia normalnych przebiegów łączeniowych, jak również pogarszają jakość odbioru, jeśli uszkodzenia takie powstaną w obwodach rozmowy. Wzrost oporności uszkodzonego zestyku stanowi bowiem dodatkowe ograniczenie prądów płynących w takim obwodzie, niestałość zaś tego oporu, zależna od różnych okoliczności, m. innymi od drgań spowodowanych sąsiedztwem ruchomych podzespołów, powoduje powstawanie szumów zakłócających odbiór. Zjawiska te są bardzo szkodliwe w obwodach rozmowy, w których są przesyłane sygnały o modulowanej amplitudzie, ponieważ wskutek wahań oporu przejścia sygnały mogą być znacznie zniekształcone, a w krańcowym przypadku w ogóle zaniknąć.

Podana w tabl. 1. przeciętna liczba zestyków, przypadająca na jednego abonenta, dotycząca pewnego stanu

automatyzacji ruchu telefonicznego nie jest bynajmniej maksymalna, gdyż przy jeszcze większej automatyzacji do zestawienia jednego połączenia telefonicznego w dużej automatycznej łącznicy miejskiej potrzeba 2000-5000 bezbłędnych zadziałań zestyków, a w automatycznej łącznicy międzymiastowej do 20000 takich zadziałań. Tego rodzaju automatyzacja, przy 5 mln łączy abonenckich w NRF, wymagała wyposażenia urządzeń teletechniki łączeniowej w około 60 mln przekaźników zawierających około 600 mln zestyków dotykowych, ponadto zaś w urządzeniach tych pracuje podobna liczba zestyków ślizgowych wybieraków. Tak więc przy 4 miliardach rozmów rocznie oraz przy przeciętnej liczbie 2500 zadziałań zestyków na zestawienie jednej rozmowy w urządzeniach telefonicznych NRF zachodzi rocznie 10 bilionów zadziałań zestyków [2].

Coraz większa automatyzacja urządzeń teletechniki łączeniowej związana jest także z coraz większym ich kosztem, co z kolei związane jest z przedłużeniem czasu amortyzacji urządzeń, który przyjmuje się od 15 do 40 lat, zależnie od urządzenia [3,4]. To wymaga z kolei zwiększenia trwałości wszystkich elementów urządzeń, m.in. również elementów stykowych, od których wymaga się jednakże różnej trwałości, zależnie od przewidywanej liczby ich zadziałań w okresie pracy. I tak elementy stykowe nowoczesnych automatycznych central telefonicznych można podzielić na cztery orientacyjne grupy o poniższej wymaganej liczbie zadziałań /rozwierań i zwierań/ przez 30 lat [2]:

| | |
|---|-------------|
| elementy stykowe obwodów kontrolnych i sygnalizacyjnych | 500.000 |
| elementy stykowe obwodów indywidual- nych /łącza abonenckie, rozmównice, wybieraki wstępne/ | 5.000.000 |
| elementy stykowe wybieraków i impul- satorów | 50.000.000 |
| elementy stykowe centralnych urzą- dzeń zasilania i sterowania /na przykład maszyny sygnałowe, cechow- niki i tp./ | 500.000.000 |

która jest wielokrotnie większa niż w centralach nie-
zautomatyzowanych, gdzie liczba zadziałań zestyków rzad-
ko przekracza 2 miliony.

Z powyższych uwag wynika więc, że dobór materiału sty-
kowego musi być obecnie znacznie bardziej staranny niż
dawniej oraz że musi on uwzględniać coraz bardziej róż-
nicowane przeznaczenie funkcjonalne zestyków.

2. CZYNNIKI WPLYWAJĄCE NA PRACĘ ZESTYKÓW I WARUNKI PRACY ZESTYKÓW URZĄDZEŃ TELETECHNIKI ŁĄCZENIOWEJ

Na pracę zestyków mają wpływ następujące czynniki e-
lektryczne, mechaniczne, klimatyczne i chemiczne, od
których zależy dobór materiału na elementy stykowe [5]:

c z y n n i k i e l e k t r y c z n e

- rodzaj i kierunek przepływającego prądu,
- natężenie prądu,
- napięcie na rozwartych i zwartych zestykach,
- charakter obwodu elektrycznego /opornościowy, pojemnościowy lub indukcyjny/, w którym pracują zestyki,

c z y n n i k i m e c h a n i c z n e

- kształt i wymiary elementów stykowych,
- wielkość przerwy stykowej,
- nacisk stykowy,
- szybkość, częstotliwość oraz łączna liczba rozwierań i zwierań zestyków,
- rodzaj ruchu zestyków /prostopadły do powierzchni elementu stykowego lub w jego płaszczyźnie/,
- występowanie odskoków elementów stykowych podczas zamykania obwodu,
- wpływ wstrząsów mechanicznych sąsiednich urządzeń,

c z y n n i k i k l i m a t y c z n e i c h e - m i c z n e

- wilgotność, temperatura, kurz, zanieczyszczenia powietrza gazami i parami substancji organicznych /makroklimat i mikroklimat/.

Idealny element stykowy urządzeń teletechniki łączeniowej powinien przy tym odznaczać się poniższymi właściwościami [3]:

- możliwie małym i stałym oporem przejścia w stanie zwarcia zestyków,
- odpowiednimi własnościami mechanicznymi,
- możliwie małą zależnością powyższych własności od czasu pracy i liczby wykonanych połączeń,
- małym współczynnikiem tarcia /w przypadku zestyków ślizgowych/,
- wysoką temperaturą topnienia i parowania,
- niepodatnością do przywierania i zgrzewania,
- odpornością na korozję,
- jak największą trwałością i niezawodnością,
- podatnością do przeróbki plastycznej,
- niską ceną.

Zestyki urządzeń teletechniki łączeniowej pracują w obwodach prądu stałego lub zmiennego, przy czym częstotliwość prądu zmiennego przepływającego w obwodach rozmowy i w obwodach sygnalizacyjnych może wynosić do kilku tysięcy Hz. Napięcie stosowane w urządzeniach teletechniki łączeniowej przeważnie nie przekracza w stanie ustalonym 60 V, jakkolwiek w obwodach licznikowych łącznic telefonicznych, przekaźników telegraficznych i w niektórych specjalnych rozwiązaniach może ono wynosić do 250 V. Natężenie prądu zawiera się przeważnie w granicach od kilku mA do 1 A, niektóre elementy pracują jednakże przy większych obciążeniach wynoszących do kilkudziesięciu amperów. Moc zużywana waha się najczęściej w granicach od kilku do kilkudziesięciu watów, chociaż niektóre przekaźniki wymagają mocy rzędu kilowatów [6]. Obwody zawierają na ogół opory rzeczywiste i indukcyjności

e charakterze skupionym, które przy rozwieraniu i zwiernianiu mogą powodować przepięcia wynoszące nawet setki woltów, poza tym zaś w obwodach rozmowy i w obwodach z gasikami mogą występować obciążenia pojemnościowe. Zestyki mogą działać w stanie bezprądowym /bez obciążenia/ i pod obciążeniem, przy czym częstotliwość zadziałań zestyków dotykowych stosunkowo rzadko /na przykład w przekaźnikach telegraficznych/ przekracza 50. zadziałań na sekundę, natomiast częstotliwość zadziałań zestyków o ruchu ślizgowym może wynosić do 200 kreków na sekundę, przy szybkości liniowej do 50 cm/sek [?].

Ogólnie biorąc, w urządzeniach teletechniki łączeniowej zestyki pracują przeważnie przy małym napięciu i natężeniu prądu, najczęściej stałego. W niektórych elementach urządzeń zestyki mogą jednakże pracować w znacznie cięższych warunkach, przy większym napięciu lub przy większym obciążeniu elektrycznym /na przykład przekaźniki sygnalizacyjne, przekaźniki biegunowe telegraficzne/, a także przy niekorzystnych obciążeniach mechanicznych, związanych z dużą częstotliwością i liczbą zadziałań, energią kinetyczną zderzeń oraz odskokami zestyków, tarciami, wstrząsami itp.

3. ZJAWISKA WYSTĘPUJĄCE NA ELEMENTACH STYKOWYCH ORAZ WPLÝW POSZCZEGÓLNYCH CZYNNIKÓW NA ICH PRACĘ

3.1. Uwagi ogólne

Podczas pracy zestyków zachodzą na powierzchni ich elementów stykowych różne skomplikowane i nakładające się

zjawiska, powodujące zużycie elektryczne /erozję/, chemiczne /korozję/ i mechaniczne tych elementów.

Zużycie elektryczne, szczególnie występujące przy przepływie prądu stałego, spowodowane jest różnego rodzaju wyladowaniami elektrycznymi, przebiegającymi podczas otwierania i zamykania obwodu, których charakter i intensywność zależą od parametrów elektrycznych obwodu. Wyladowania te powodują częściowo erozję materiału stykowego, związaną z jego przeniesieniem z anody do katody lub w przeciwnym kierunku, w wyniku zjawisk fizycznych /topienie, parowanie i rozpylanie materiału/, oraz częściowo korozję materiału stykowego w wyniku utleniania oraz innych reakcji z otoczeniem, przebiegających przy wysokich temperaturach.

Korozja może występować również na materiałach stykowych zestyków bezprądowych oraz zestyków pracujących pod obciążeniem, lecz znajdujących się w spoczynku, przy czym korozja w tych przypadkach, w odróżnieniu od uprzedniej korozji gazowej, przebiega przy temperaturze pokojowej, także w wyniku utleniania i innych reakcji z otoczeniem.

Zużycie mechaniczne jest natomiast wynikiem działania nacisku stykowego, energii kinetycznej zderzeń i przede wszystkim tarcia, ponadto zaś może ono być spowodowane przywieraniem /sklejaniem się/ zestyków wskutek efektu cieplnego prądu.

Ponieważ zjawiska te mają zasadnicze znaczenie dla pracy zestyków, zostaną one poniżej omówione bardziej szczegółowo. W celu lepszego zobrazowania tych zjawisk najpierw będzie omówiony wpływ czynników chemicznych, a następnie mechanicznych i elektrycznych.

3.2. Wpływ czynników chemicznych

3.2.1. Wpływ atmosfery /makroklimatu/

Na każdym elemencie stykowym, niezależnie od jego materiału, wytwarza się w powietrzu najpierw silnie przylegająca, bardzo cienka błonka, będąca wynikiem adsorpcji wilgoci i gazów znajdujących się w powietrzu, a mianowicie tlenu lub zanieczyszczeń siarkowodorem, dwutlenkiem siarki i innymi gazami. Zanieczyszczenie powietrza siarkowodorem spowodowane jest procesami gnilnymi, podczas gdy dwutlenkiem siarki - procesami spalania substancji zawierających siarkę, którym może towarzyszyć ich rozkład z wydzieleniem wolnej siarki. Zaadsorbowana błonka, jak też ewentualnie wytwarzająca się następnie warstewka produktów reakcji gazów z materiałem stykowym powodują zwiększenie oporu przejścia między elementami stykowymi. Zależnie od struktury /porowatości/ warstewki produktów reakcji proces jej wytwarzania się może postępować nieprzerwanie, albo też ulec zahamowaniu po pewnym czasie, przy czym produktami reakcji materiałów stykowych z atmosferą są najczęściej tlenki, siarczki i węglany.

Część składowa R_w oporu przejścia materiału stykowego, będąca wynikiem wytwarzania się zaadsorbowanej błonki lub warstewki produktów reakcji, wyraża się poniższą zależnością w przypadku miejsca styku o powierzchni koła

$$R_w = \frac{\sigma}{\pi a^2} = \frac{Q_1 d}{\pi a^2}$$

w której

- δ - opór naskórkowy /Hautwiderstand, Schichtwiderstand/, $\Omega \cdot \text{cm}^2$,
- ρ_1 - oporność elektryczna właściwa, $\Omega \cdot \text{cm}$,
- d - grubość warstewki lub błonki, cm ,
- a - promień miejsca styku, cm .

Gdy grubość błonki nie przekracza średnicy dwóch molekuł /około 5 Å/, opór naskórkowy praktycznie nie zależy od rodzaju materiału stykowego i jest rzędu $10^{-8} \Omega \cdot \text{cm}^2$, ponieważ błonka nie stanowi wtedy bariery potencjalnej przeskokom swobodnych elektronów. Gdy natomiast grubość błonki lub warstewki jest większa, lecz nie przekracza 100 Å, opór naskórkowy jest wówczas funkcją ich grubości oraz oporności właściwej, zgodnie z podaną wyżej zależnością. Zależność ta przestaje być ważną w przypadku warstewek o większej grubości, ponieważ grubość takich warstewek przeważnie nie jest jednakowa wzdłuż ich powierzchni oraz, ponieważ oporność właściwa warstewek, będących najczęściej półprzewodnikami, może znacznie wahać się wzdłuż powierzchni już przy nieznacznych odchyleniach od stosunku stechiometrycznego składników w półprzewodniku. Do pewnej grubości błonki i warstewki prąd może przez nie przepływać, po przekroczeniu jednakże określonej grubości warstewka staje się izolatorem [8].

Najmniej szkodliwym dla pracy elementów stykowych z metali szlachetnych jest tlen, ponieważ praktycznie nie reaguje on ze złotem i platyną oraz tworzy tlenki z palladem i rodem dopiero przy wysokich temperaturach, dyso-

cjujące przy temperaturach 800° względnie 1000°C . Srebro tworzy zaś tlenek już przy temperaturze pokojowej, lecz tlenek ten dysocjuje przy temperaturze 200°C , wobec czego tlenki na elementach stykowych ze srebra praktycznie nie wpływają na opór naskórkowy i pracę zestyków, z wyjątkiem zestyków bardzo małej mocy, pracujących przy niskim napięciu i małym nacisku stykowym. Natomiast metale nieszlachetne silnie utleniają się przy temperaturze pokojowej, a ich tlenki dysocjują przy temperaturach wyższych niż tlenki metali szlachetnych, niekiedy nawet wyższych niż temperatura topnienia metalu [9].

Znacznie bardziej szkodliwym zanieczyszczeniem powietrza są gazy zawierające siarkę, m.in. siarkowódór, który reaguje przy temperaturze pokojowej ze srebrem, najczęściej dotychczas stosowanym materiałem stykowym. W wyniku tej reakcji wytwarza się siarczek srebra, którego oporność elektryczna właściwa waha się w granicach $10^3 - 10^8 \Omega \cdot \text{cm}$, wskutek czego opór warstewki siarczku o grubości 1 mikrona wynosi od 30 k do kilku M [10]. Wytwarzanie się siarczku srebra zachodzi już przy zawartości kilku mm^3 siarkowodoru w m^3 powietrza [8,10], a więc przy normalnej zawartości siarkowodoru w atmosferze rejonów przemysłowych. Intensywność wytwarzania się siarczku zależy w dużej mierze od zawartości w powietrzu wilgoci, która jest niezbędna do reakcji siarkowodoru ze srebrem.

Sama wilgoć może być adsorbowana przez materiał stykowy z utworzeniem warstewek o grubości do 100 \AA , zależnie od rodzaju materiału stykowego i wilgotności powie-

trza. Warstewki wody nie powodują jednakże zakłóceń przepływu prądu, gdyż przy zamykaniu obwodu warstewka wody rozpryskuje się, a pozostająca monomolekularna warstewka przewodzi prąd dzięki zjawisku tunelowego przepływu prądu. Dlatego też warstewka wody jest nawet korzystna, ponieważ łagodzi ona gwałtowne zmiany oporu przy otwieraniu i zamykaniu obwodu, zmniejsza skłonność do przywierania zestyków dotykowych oraz zwiększa trwałość zestyków ślizgowych, spełniając rolę smaru o współczynniku tarcia około 0,4 [1]. W związku z tym właśnie wilgotność względna w pomieszczeniach central musi być odpowiednio wielka i /powinna wynosić według różnych danych 40-80%, przeważnie około 60% [1, 11, 12, 13].

3.2.2. Wpływ par substancji organicznych

Zagadnienie wpływu par substancji organicznych na materiały stykowe staje się coraz ważniejsze wobec stale zwiększającego się zastosowania tworzyw sztucznych i innych materiałów organicznych w urządzeniach telekomunikacyjnych. Większość tych tworzyw i materiałów charakteryzuje się bowiem stosunkowo znaczną prężnością pary [14], która ulatniając się zanieczyszcza atmosferę pomieszczenia /makroklimat/ lub bezpośrednio otoczenie zestyków /mikroklimat/ oraz jest adsorbowana przez powierzchnię materiału stykowego w postaci monomeru lub mało spolimeryzowanego polimeru.

Gdy nawet zestyki są nieobciążone i znajdują się w stanie spoczynku lub też zwłaszcza, gdy zestyki pracują

przy bardzo małych obciążeniach, zaadsorbowana para substancji organicznej może ulec polimeryzacji wskutek tarcia i docisku zestyków, zawsze występujących przy ich zwieraniu. W wyniku tej polimeryzacji wytwarza się na powierzchni stycek czerwono-brunatny pył /brown powder/ ewentualnie zmieszany z pyłem metalu, działający podobnie jak kurz. Polimeryzacji sprzyjają przede wszystkim platynowce, szczególnie platyna i pallad, wobec bardziej nienasyconej elektronami ich orbity zewnętrznej niż u srebra lub złota, wskutek czego platynowce łatwiej wiążą się z atomami wodoru substancji organicznych, jakkolwiek srebro i złoto także mogą spowodować polimeryzację w odpowiednich warunkach. Najbardziej podatne do polimeryzacji są związki aromatyczne oraz nienasycone związki alifatyczne, przy czym polimeryzacja zachodzi tym łatwiej, im dłuższy jest łańcuch cząsteczki oraz im więcej ma ona związków nienasyconych i mostków CO; natomiast nasycone związki alifatyczne są tylko adsorbowane fizycznie na powierzchni materiału stykowego [4,12,15-18]. Inaczej wpływają pary substancji organicznych na wolfram, który bezpośrednio z nimi reaguje, jeżeli wilgotność powietrza jest dostateczna [19].

Jeszcze bardziej pogłębiają się powyższe zjawiska, gdy zestyki są obciążone elektrycznie, ponieważ w takich warunkach pary niektórych substancji organicznych rozkładają się wskutek wyładowań elektrycznych między zestykami z utworzeniem produktów niecałkowitego rozkładu i węgla oraz cząsteczek węgla, które wytwarzają na powierzchni materiału stykowego szaro-czarny proszek, najczę-

ściej zmieszany z pyłem metalicznym. Gdy w wyniku tych zjawisk wytwarzają się produkty o złej przewodności elektrycznej, powodują one zwiększenie oporu naskórkowego; gdy natomiast rozkładowi par towarzyszy powstawanie dobrze przewodzących cząsteczek węgla, aktywują one powierzchnię materiału stykowego. Aktywacja ta powoduje zmniejszenie minimalnego natężenia prądu wytwarzania iskrzenia /krótkich łuków/ do 0,03-0,05 A, wskutek czego, jeżeli przy wprowadzaniu gasików nie uwzględniono możliwości znacznego zmniejszenia się prądu granicznego powstawania iskrzenia, zachodzi ono w takich obwodach, w których po wprowadzeniu do nich gasików w zasadzie nie jest możliwe. To zmniejszenie natężenia prądu związane jest z przedłużeniem i przemieszczaniem się iskrzenia, a tym samym ze zwiększonym do 100 razy zużyciem materiału stykowego [8, 12, 16, 17, 20-24]. Szczególnie niebezpieczne są powyższe zjawiska, gdy zestyki pracują w atmosferze bez dostępu lub z niedostatecznym dostępem powietrza wskutek zastosowania osłon przekładników, zwłaszcza z tworzyw sztucznych [22, 25].

Bardzo interesujące są wyczerpujące badania wpływu różnych substancji i tworzyw organicznych na pracę zestyków, przeprowadzone w Czechosłowacji, zestawione w tabl. 2 i 3 [12], z których widać, że pary wielu tworzyw i materiałów organicznych wpływają niekorzystnie na działanie zestyków. Do podobnych wniosków doprowadziły badania przeprowadzone w NRF [10], z których wynika, iż szczególnie niekorzystnie wpływają na działanie zestyków m.in. pary wydzielane przez linoleum, ponieważ

zawiera ono nieutlenione i niespolimeryzowane pozostałości oleju lnianego, oraz ponieważ surowce stosowane do jego produkcji są często zanieczyszczone związkami zawierającymi siarkę. Dlatego też powierzchnia linoleum powinna być pokryta lakierem dyspersyjnym z tworzywa sztucznego, uniemożliwiającym przedostawanie się z linoleum par, jakkolwiek i wtedy istnieje niebezpieczeństwo szkodliwego oddziaływania linoleum w przypadku mechanicznego uszkodzenia lub zużycia warstwy lakieru. Niekorzystne oddziaływanie mogą spowodować także mieszanki gumowe wulkanizowane siarką lub związkami zawierającymi siarkę, które wydzielają pod wpływem wilgoci związki siarki, wobec czego mieszanki gumowe stosowane w urządzeniach teletechniki łączeniowej powinny być raczej wulkanizowane nadtlenkami i sporządzane z kauczuków niezanieczyszczonych siarką. Szczególnie szkodliwe są wszelkie środki stosowane do konserwacji wykładzin podłogowych, zawierające terpentynę lub inne szkodliwe rozpuszczalniki, podczas gdy materiały zastępcze terpentyny /najczęściej wysoko wrzące frakcje benzyny/, podobnie jak nafta i parafina nie są szkodliwe, jeżeli nie są zanieczyszczone siarką lub jej związkami. Same wykładziny podłogowe z polichlorku winylu nie są szkodliwe według badań przeprowadzonych w NRF, co jest sprzeczne z wynikami badań w Czechosłowacji i USA, prawdopodobnie wskutek zastosowania odmiennych plastyfikatorów w wykładzinach lub wskutek różnej czystości plastyfikatorów.

Jak więc z tego widać, pary substancji organicznych mogą wpływać w istotny sposób na niezawodność i trwa-

Wpływ pary niektórych substancji organicznych na pracę zestyków

| Substancja organiczna | Wpływ na wytwarzanie się iskrenia | | Wpływ na wytwarzanie się osadu na materiale stykowym | | Wpływ na erozję materiału stykowego | | Wpływ na opór przejścia zestyków | |
|-------------------------------|-----------------------------------|----|--|----|-------------------------------------|----|----------------------------------|----|
| | Ag | Pd | Ag | Pd | Ag | Pd | Ag | Pd |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Benzyna | - | - | 0-1 | - | 1 | - | + | - |
| Alkohol etylowy | - | - | 0 | 0 | 1 | 1 | - | - |
| Aldehyd mrówkowy | - | - | 0-1 | 0 | 1 | 1 | - | - |
| Aldehyd octowy | - | - | 0-1 | 0 | 0-1 | 0 | x | - |
| Aldehyd butylowy | x | - | 2 | - | 2 | 0 | - | - |
| Metyloetyloketon | + | - | 2-3 | - | 4 | 0 | - | - |
| Kwas olejowy | x | - | 1-2 | - | 1-2 | 0 | - | - |
| Ester etylowy kwasu masłowego | - | - | 0-1 | - | 1-2 | 0 | - | - |
| Trójchloroetylen | + | + | 4 | 4 | 4 | 4 | + | + |
| Alkohol allilowy | - | - | 1 | - | 1-2 | 0 | - | - |

Tablica 2 c.d.

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---------------------|---|---|-----|-----|-----|-----|---|---|
| Metakrylan metylu | x | | 0-1 | | 0-1 | | - | |
| Kaprolaktam 6 | | | 1-2 | | 0-1 | | | |
| Benzen | + | + | 4 | 4 | 4 | 4 | + | + |
| Antracen | - | - | 2-3 | 4 | 3 | 3-4 | - | + |
| Fenol | x | | 4 | | 2-3 | | + | |
| Aldehyd benzoesowy | + | + | 4 | 4 | 3-4 | 4 | + | + |
| Paradwuchlorobenzen | - | + | 4 | 4 | 4 | 4 | x | + |
| Styren | + | + | 4 | 4 | 3-4 | 4 | + | + |
| Dwubutyleftalan | x | | 4 | 4 | 3-4 | | - | |
| Dwuoktyloftalan | - | - | 4 | 4 | 4 | 4 | - | + |
| Anilina | + | | 4 | | 3-4 | | - | |
| Furfurol | + | + | 4 | 4 | 4 | 4 | x | + |
| Cykloheksanon | - | - | 4 | 4 | 3-4 | 4 | - | - |
| Olej kamforowy | - | | 3-4 | | 2-3 | | - | |
| Terpentyna | - | - | 2-3 | 3-4 | 2 | 3-4 | - | + |

Tablica 2. c.d.

Sposób oceny

| | |
|----------------------------|---|
| wytwarzanie się iskrzenia | + iskrzenie trwałe |
| | x iskrzenie okresowe |
| | - brak iskrzenia |
| wytwarzanie się osadu | 0 brak osadu |
| | 1 osad mały, widoczny tylko pod mikroskopem |
| | 2 skupienia osadu |
| | 3 zbity osad w pobliżu styczki |
| | 4 obfity osad |
| erozja materiału stykowego | 0- brak erozji |
| | 1- mała erozja |
| | 2- średnia erozja |
| | 3- stosunkowo znaczna erozja |
| | 4- silna erozja |
| opór przejścia | + ponad 1000 MΩ |
| | x 100 do 1000 MΩ |
| | - poniżej 10 MΩ |

Wpływ pary niektórych tworzyw sztucznych oraz innych materiałów na pracę zestyków

| Tworzywo lub materiał | Maksymalna zawartość pary w powietrzu % | Intensywność wpływu na pracę zestyków |
|---|---|---------------------------------------|
| 1 | 2 | 3 |
| Wypraski i laminaty | | |
| Żywice fenolowo-krezolowo-formaldehydowe z wypełniaczami /wypraski/ | 3 | 2-3 |
| Żywice fenolowo-krezolowo formaldehydowe /laminaty z papierem i materiałem włóknistym/ | 3 | 3-4 |
| Żywice epoksydowe /laminaty/ | 0,5 | 0-1 |
| Żywice anilinowo-formaldehydowe /wypraski/ | 1 | 2-3 |
| Żywice melaminowo- i moczynikowo-formaldehydowe /wypraski/ | 0,5 | 0-1 |
| Wyroby formowane wtryskowo, płyty, kształtki, folia Plastyfikowany policlorek winylu | 40 | 4 |

Tablica 3 c.d.

| 1 | 2 | 3 |
|--|-----|-----|
| Polistyren | 0,1 | 3-4 |
| Polimetakrylan metylu | | |
| Polikaprolaktam | 15 | 0-1 |
| Polietylen | 0,1 | 0 |
| Polipropylen | 0,1 | 0 |
| Politereftalan etylenu | 0,1 | 1-2 |
| Politriójfluorochloroetylen | 0,1 | 0-1 |
| Żywice lane | | |
| Żywice policstrowo-styrenowe | 3 | 3-4 |
| Żywice epoksydowe i ich kopolimery | 1 | 0-1 |
| Polimetakrylan metylu | 0,5 | 1 |
| Asfalty | 8 | 4 |
| Lakiery izolujące i przesycające | | |
| Lakier olejowy elektroizolacyjny /modyfikowane oleje naturalne z żywicami estrowymi/ | 3 | 1 |

| 1 | 2 | 3 |
|--|-----|-----|
| Lakier bakelitowy /żywice fenolowo-krezolowo-formaldehydowe z rozpuszczalnikiem/ | 0,5 | 1-2 |
| Lakier poliamidowy /polikaprolaktam z rozpuszczalnikiem/ | 8 | 0-1 |
| Lakier epoksydowy /żywice epoksydowe z rozpuszczalnikiem/ | 0,1 | 0-1 |
| Lakier poliuretanowy /żywice poliuretanowe z rozpuszczalnikiem/ | 0,3 | 0-1 |
| Różne materiały | | |
| Lakier celulozowy /nitroceluloza, acetyloceluloza i maślan acetylocelulozy z plastyfikatorami i rozpuszczalnikiem/ | 40 | 4 |
| Emalie /modyfikowane żywice alkidowe /z rozpuszczalnikiem/ | 5 | 2-3 |
| Wykładziny podłogowe /plastyfikowany poli-chlorek winylu/ | 40 | 3-4 |
| Linoleum /polikwasy tłuszczowe/ | 3 | 1 |

łość zestyków, co zmusza do starannego doboru tworzyw sztucznych stosowanych w urządzeniach i pomieszczeniach teletechniki łączeniowej, a także do właściwego doboru środków stosowanych do ich konserwacji i czyszczenia. Zagadnienia te stają się coraz ważniejsze wobec stale wzrastającego zastosowania tworzyw sztucznych oraz wobec braku ekonomicznych sposobów usuwania par substancji organicznych z otoczenia. Szczególną uwagę należy zwracać na materiał korpusów cewek /na przykład korpusy z bakelitu mogą wydzielać parę fenolu w przypadku niezakończonoego utwardzenia bakelitu/ i innych elementów z tworzyw sztucznych, druty emaliowane stosowane do uzwojeń, kable i przewody o izolacji i powłoce z tworzyw termoplastycznych, farby do malowania, wykładziny podłogowe i środki do konserwacji wykładzin [10, 20, 26].

Ogólne zasady związane ze stosowaniem tworzyw sztucznych i innych materiałów organicznych powinny być następujące [12]:

- należy unikać stosowania materiałów intensywnie działających na zestyki, gdy zaś muszą one być stosowane, należy wtedy zapewnić dobrą wymianę powietrza, zależną od masy i powierzchni zastosowanych materiałów,

- gdy wymiana powietrza jest z jakichkolwiek względów ograniczona, jak na przykład w przypadku stosowania osłon przeciw kurzowi, należy stosować wówczas materiały o jak najmniejszej prężności pary oraz otwory umożliwiające wymianę powietrza,

- temperatury pracy elementów, w których są zastos-

wane materiały organiczne, muszą być dostosowane do użytych materiałów,

- w szczelnych obudowach nie mogą znajdować się żadne materiały organiczne wydzielające parę, gdyż mała przestrzeń obudowy może łatwo nasycić się wytworzoną parą,

- stosowane materiały termo- i chemoutwardzalne powinny być całkowicie utwardzone i dostatecznie długo składowane w celu ograniczenia do minimum wydzielania się pary.

3.2.3. Wpływ kurzu [3, 16, 25, 27]

Kurz, łatwo osiadający na elementach stykowych dzięki ładunkowi elektrostatycznemu, może powodować zniszczenia połączeń i fałszywe połączenia lub też w ogóle uniemożliwiać połączenia, ponieważ cząsteczki kurzu najczęściej źle przewodzą prąd. Zakłócenia te powstają, gdy średnica cząsteczek kurzu jest większa niż 50 mikronów, podczas gdy cząsteczki kurzu o mniejszej średnicy nie powodują zakłóceń, jeżeli nie zbijają się one w większe skupienia. Szczególnie niebezpieczny jest kurz dla zestyków bezprądowych, gdyż zestyki otwierające i zamykające obwody pod obciążeniem podlegają samooczyszczeniu przez iskrzenie.

Kurz przedostaje się do pomieszczeń z zewnątrz w postaci cząsteczek żużla, koksu, popiołu, sadzy i substancji mineralnych albo też wytwarza się wewnątrz pomie-

szczeń w postaci cząsteczek materiałów włóknistych i drewna, złuszczonego naskórka ludzkiego oraz produktów zużycia i uszkodzeń urządzeń, powstających podczas ich produkcji, montażu lub eksploatacji. Kurz zewnętrzny jest stosunkowo łatwy do uniknięcia przez zastosowanie filtrów w układach wentylacyjnych, natomiast kurz wytwarzający się wewnątrz pomieszczeń zawsze w nich znajduje się i osiada na zestykach, które trudno jest przed nim zabezpieczyć za pomocą osłon. Jak wspomniano uprzednio, osłony te mogą być przy tym niekorzystne z innych względów.

Wpływowi kurzu przeciwdziała się przez zwiększenie wilgotności pomieszczeń i odpowiednią konstrukcję zestyków oraz przez oczyszczanie zestyków.

3.2.4. Środki przeciwdziałania wpływowi czynników chemicznych

3.2.4.1. Sposoby przeciwdziałania. Jak wspomniano uprzednio, wytwarzanie się warstewek izolacyjnych na powierzchni materiałów stykowych jest bardzo szkodliwe, ponieważ powodują one tłumienie prądu i szumy w obwodach elektrycznych, w krańcowym zaś przypadku mogą w ogóle uniemożliwić połączenie. Najprostszym sposobem przeciwdziałającym tym zjawiskom jest zastosowanie materiału stykowego o jak największej odporności chemicznej; taki sposób jest jednakże niemożliwy w przeważającej większości przypadków ze względów ekonomicznych.

W związku z powyższym w celu polepszenia jakości i

niezawodności połączeń stosuje się, poza doбором materiału stykowego, poniższe środki:

- klimatyzację pomieszczeń do uzyskania odpowiedniej wilgotności oraz oczyszczanie powietrza z kurzu zewnętrznego za pomocą filtrów, jak również oczyszczanie samych zestyków i osłony przeciw kurzowi,

- omówione uprzednio środki zmniejszające wpływ par tworzyw sztucznych i innych substancji organicznych,

- odpowiednią obróbkę wstępną powierzchni elementów stykowych,

- okresowe smarowanie i odtłuszczanie elementów stykowych,

- pokrywanie elementów stykowych specjalnymi substancjami zabezpieczającymi,

- podwójne i bliźniacze zestyki,

- przepuszczanie przez zestyki prądu ze źródła o zwiększonym napięciu, przebijającego warstewki izolujące /omywanie, Fritten, wetting/.

Ponadto stosuje się odpowiedni nacisk stykowy, co zostanie omówione w następnym rozdziale.

3.2.4.2. Obróbka wstępna powierzchni elementów stykowych. Podczas produkcji elementów stykowych o małej twardości należy unikać ich szlifowania i polerowania, które powodują wtłaczanie obcych cząsteczek w powierzchnię materiału stykowego. Szczególnie trudne do unik-

nięcia jest to w przypadku elementów wykrawanych, które wymagają usunięcia gradu, wobec czego trzeba unikać takiej technologii produkcji elementów stykowych [15].

Wskazane jest poddawanie elementów stykowych tylko odczyszczaniu gorącą wodą i emulsją mydeł obojętnych oraz, ewentualnie, zabezpieczanie w okresie składowania monomolekularną warstewką substancji polarnej o długim łańcuchu /epilamen/, otrzymanywaną przez rozpuszczenie takiej substancji w rozpuszczalniku, posmarowanie nią i wytarcie [3].

3.2.4.3. Smarowanie i odtłuszczenie. Jak wykazała praktyka, smarowanie jest korzystne w przypadku elementów stykowych zestyków ślizgowych, gdyż zmniejsza ono współczynnik tarcia i tym samym ścieranie elementów stykowych, ponadto zaś smarowanie utrudnia utlenianie się materiału stykowego, przeważnie o małej odporności chemicznej w przypadku zestyków ślizgowych. Wytwarzający się wskutek ścierania pył metaliczny zmieszany z produktami utleniania i innych reakcji chemicznych oraz z kurzem, stanowi bowiem trudną do usunięcia warstewkę izolującą, powodującą tłumienie prądu i szumy, podczas gdy cienka błonka smaru, zwłaszcza w warunkach smarowania granicznego, zapewnia dostatecznie dobre przewodzenie prądu [3, 11, 12, 15]. Natomiast celowość smarowania styczek zestyków dotykowych jest wątpliwa, gdyż warstewka ta pochłania kurz, co po pewnym czasie niweluje korzyści wynikające ze smarowania [15], chociaż, zdaniem

niektórych, smary wytwarzające cienką, nie lepłą błonkę nadają się do tego celu. Do takich smarów zalicza się lanolinę i kwas stearynowy, przy czym za najlepsze rozwiązanie uważany jest 10% roztwór kwasu stearynowego w trójchloroetylenie lub podobnym rozpuszczalniku, dzięki któremu uzyskuje się rzekomo mały i stały opór przejścia nawet po 10^6 zadziałań zestyków [29].

Do smarowania zalecane są smary mineralne o długim łańcuchu cząsteczek, obojętne chemicznie, na przykład olej zegarmistrzowski, nie podatne do pełzania po powierzchni. Z tego ostatniego względu nie nadają się do smarowania elementów stykowych smary silikonowe [15].

Do okresowego odtłuszczania elementów stykowych, które stosuje się poza okresowym odkurzaniem i oczyszczeniem mechanicznym, używa się różnych rozpuszczalników. Rozpuszczalnik do tego celu powinien odznaczać się dobrym rozpuszczaniem tłuszczów i olejów, niepalnością i niewytwarzaniem z powietrzem mieszaniny wybuchowej, łatwością odparowania i niepozostawianiem po odparowaniu tłustej błonki, obojętnością chemiczną w stosunku do metali i tworzyw sztucznych oraz nietoksycznością.

Jednym z do niedawna powszechnie stosowanych rozpuszczalników był trójchloroetylen, który jednakże jest toksyczny i aktywuje powierzchnię srebra na działanie siarkowodoru wskutek wydzielania się na niej chlorku srebra z powodu zanieczyszczenia trójchloroetylenu kwasem solnym [28]. Dlatego też jest on zastępowany czterochlorometanem lub jego pochodnymi /tetrapolin, stosowany w NKF/, stabilizowanym 1,1,1-trójchloroetanem /Wy-

thine/ o 20-krotnie mniejszej toksyczności niż czterochlorometan oraz czterochloroetylenem [29]. Czterochloroetylen jest mianowicie znacznie mniej toksyczny oraz ma większą prężność pary i mniejsze nasycenie pary w powietrzu niż trójchloroetylen, poza tym zaś nie rozkłada się on pod wpływem promieni świetlnych, nie działa korozyjnie na metale, dopóki nie zawiera wody, oraz nie działa na tworzywa sztuczne. Dobre wyniki dają ponadto niektóre nasycone alifatyczne związki fluoroorganiczne, a mianowicie $C_3 Cl_4 F_4$ /Freon 214/, $C_3 F_5 Cl_3$ /Freon 213/ i $C_2 Cl_2 F_4$ /Freon 112/, które są całkowicie obojętne chemicznie i stabilne cieplnie, niepalne, niekorodujące i mało oddziaływujące na tworzywa sztuczne. Nie zabezpieczają one jednakże całkowicie srebra przed wpływem siarkowodoru, nie rozpuszczają parafiny i cerezyny oraz gorzej odparowują niż czterochloroetylen, co po uwzględnieniu ich wysokiej ceny nie przynosi specjalnych korzyści w stosunku do innych rozpuszczalników [29]. Spośród innych rozpuszczalników stosowane są 95% alkohol etylowy [12], benzyna i nafta [29], przy czym wybór rozpuszczalnika zależy w dużej mierze od warunków istniejących w pomieszczeniach, w których są zainstalowane urządzenia teletechniki łączeniowej /wietrzeń, temperatura, iskrowanie/.

W miejscu tym trzeba zaznaczyć, że rozpuszczalnik nie usuwa wszystkich zanieczyszczeń powierzchni elementu stykowego, zwłaszcza związków nieorganicznych, których usunięcie wymagałoby zastosowania wodnych roztworów niektórych związków chemicznych, tworzących sole kompleksowe

zanieczyszczeniami /na przykład cjaniki w przypadku siarczku srebra/. Takie postępowanie spowodowałoby jednakże konieczność wycierania i suszenia elementów stykowych, co byłoby nieekonomiczne. Dlatego też lepszy jest dobór bardziej odpornego chemicznie materiału stykowego.

3.2.4.4. Pokrywanie specjalnymi substancjami. Ponieważ okresowe smarowania i odtłuszczania są kłopotliwe oraz zawodne niekiedy w efekcie, od dawna umiłowano zastąpić je pokrywaniem elementów stykowych specjalnymi substancjami, których czas zabezpieczania materiału stykowego byłby znacznie dłuższy, a efekt działania pewniejszy. W związku z tym w krajach kapitalistycznych ukazały się liczne tego rodzaju substancje, do których należy jednakże podchodzić z dużą ostrożnością. M.in. produkowane są one w USA przez firmy Channelmaster, Electronics Chemical Corporation i Injectoral Company [29].

Spośród tych substancji szeroko reklamowana i zalecana ostatnio jest substancja Electrolube, produkcji angielskiej, stosowana w Anglii, Francji i Holandii [30]. Jest to ciecz chemicznie obojętna i stabilna, nie mieszająca się z wodą, nie wysychająca, mająca własności smarne, zabezpieczające przed utlenianiem i korozją wszystkie metale oraz odznaczająca się małą opornością elektryczną właściwą i ujemnym współczynnikiem cieplnym oporności. Własności tej substancji są następujące:

- ciężar właściwy przy temp. 15°C 0,99
- temperatura topnienia -46°C

| | |
|----------------------------------|--|
| - temperatura wrzenia /10 mm Hg/ | 410°C |
| - temperatura zapłonu | 246°C |
| - napięcie powierzchniowe | 34,7 dyn/cm |
| - oporność elektryczna | |
| w temp. -10°C | 3,5 · 10 ³ MΩ/cm ³ |
| " +20°C | 4 · 10 ² MΩ/cm ³ |
| " +120°C | 5 · 10 ¹ MΩ/cm ³ |

Przy rozwieraniu zestyków, Electrolube, wobec swej lepkości i swojego napięcia powierzchniowego, tworzy jakby ciekły mostek, uniemożliwiający lub zmniejszający iskrzenie.

Dzięki powyższym zaletom, Electrolube stosowany jest do zwilżania pól stykowych wybieraków podnosząco-obrotowych, zestyków przekaźników, wtyków nożowych wybieraków itp., przez co uzyskano co najmniej dziesięciokrotne zmniejszenie liczby błędnych połączeń i znaczne polepszenie działania zestyków w obwodach rozmowy oraz zmniejszenie zużycia szczotek i pól wybieraków, bez jakiegokolwiek szkodliwego wpływu ubocznego na inne elementy. Jednokrotne zwilżenie rozpylaczem pól wybieraków wystarcza na dwa względnie trzy lata, przy czym 1 kg Electrolube o koszcie 18 dolarów wystarcza na wszystkie pola centrali 20-30000 numerowej. Zestyki przekaźników zwilża się szmatką zanurzoną w Electrolube [31].

3.2.4.5. Podwójne i bliźniacze zestyki. Poza wyżej omawianymi sposobami polepszenia jakości i niezawodności działania zestyków stosuje się obecnie z zasady, zgodnie z PN-60/T-06000, zestyki podwójne lub bliźnia-

cze. Zalety takich zestyków są powszechnie znane i nie wymagają omówienia.

3.2.4.6. Przepuszczanie przez zestyki prądu ze źródła o zwiększonym napięciu. Równie powszechnie stosuje się przepuszczanie przez zestyki obwodów rozmywy dodatkowego prądu ze źródła o zwiększonym napięciu, dzięki czemu uzyskuje się przebicie warstewki izolującej, znajdującej się na powierzchni materiału stykowego. Takie postępowanie ma szczególne znaczenie w przypadku elementów stykowych ze srebra i jego stopów oraz z metali nieszlachetnych, których niedostateczna odporność chemiczna nie zapewnia małego i stałego oporu przejścia [3, 32].

Bliższe omówienie różnych sposobów powyższego postępowania zawierają prace L. Borcherta i K.L. Rau [33, 34].

3.3. Wpływ czynników mechanicznych

3.3.1. Wpływ nacisku stykowego

Zwarcie zestyków musi zawsze towarzyszyć określony nacisk na elementy stykowe, który jest niezbędny do mechanicznego zniszczenia warstewki izolującej, wytwarzającej się na tych elementach, a także do zwiększenia rzeczywistej powierzchni przewodzącej. Opór przejścia elementów stykowych zależy bowiem, zgodnie z zależnością

$$R = R_z + R_w ,$$

nie tylko od składowej spowodowanej obecnością na materiale stykowym warstewek izolujących $/R_w/$, lecz również od składowej wynikającej z miejscowych zagęszczeń linii pola sił $/R_z/$ wskutek zawsze występujących nierówności powierzchni metalicznych. Gdy przy tym $R_z \gg R_w$, co występuje w przypadku metali szlachetnych, na których wytwarza się tylko molekularna warstewka, wówczas R_z dąży do $Q/2a$, gdy zaś $R_z \ll R_w$, co występuje w przypadku metali nieszlachetnych, wówczas R_z dąży do $2Q/\sqrt{\pi}a$, jeżeli Q jest opornością elektryczną właściwą materiału stykowego, zaś a - promieniem miejsca styku /znacznie mniejszym niż promień styczki/ oraz, jeżeli pominie się wzajemny wpływ miejsc styku i wzrost temperatury w miejscach styku [1].

Gdy nacisk powoduje tylko elastyczne odkształcenie materiału stykowego, wówczas

$$a = \sqrt[3]{\frac{3}{2} F k_f \frac{1-m^2}{E}},$$

gdy zaś odkształcenie jest plastyczne, wtedy

$$a = \sqrt{\frac{F}{\sqrt{\pi} \Pi}},$$

przy czym

- F - nacisk stykowy,
- m - liczba Poissona,
- E - moduł elastyczności podłużnej,
- k_f - współczynnik kształtu, wynoszący

$$k_f = \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2} \quad \text{w przypadku stycek o promieniach } r_1 \text{ i } r_2$$

$$k_f = r \quad \text{w przypadku skrzyżowanych prętów o promieniu } r$$

H - twardość wyżarzzonego materiału stykowego.

Ponieważ zaś odkształcenie plastyczne, które jest na ogół niezbędne, następuje gdy

$$F_{p1} = \frac{2\pi^3}{3} \frac{H^3}{E^2} /1-m^2/ k_f^2$$

$$a_{p1} > \pi \frac{H}{E} /1-m^2/ k_f ,$$

wynika z tego, że mały nacisk stykowy uzyskuje się wtedy, gdy materiał stykowy ma małą twardość oraz duży moduł elastyczności i dużą liczbę Poissona. Ponadto małemu naciskowi sprzyjają kruchość i mała grubość warstewki izolującej.

Tak więc należy dążyć, aby

$$R_z > R_w ,$$

co występuje, gdy

$$a > a_k = \frac{2\sigma}{\pi\zeta} .$$

Wartości charakterystyczne, wynikające z powyższych rozważań, niezbędne do obliczania nacisku stykowego i liczby stycek, przedstawia tabl. 4 [35].

Opór zagęszczenia $/R_z/$ w przypadku styczek z jednokowego materiału, o kształcie kulistym i takim samym promieniu, lub też w przypadku skrzyżowanych prętów o takiej samej średnicy wynosi przy odkształceniu tylko elastycznym.

$$R_z = 0,58 \psi \sqrt{\frac{E}{F r}},$$

a przy odkształceniu tylko plastycznym

$$R_z = 0,89 \psi \sqrt{\frac{H}{F}},$$

przy czym r jest promieniem styczek lub skrzyżowanych prętów [8].

Z zależności tych wynika, że opór zagęszczenia, a tym samym opór przejścia jest tym mniejszy przy określonym nacisku, im mniejsze są oporność elektryczna właściwa materiału stykowego oraz jego moduł elastyczności i twardość. Pomimo tego w praktyce nie stosuje się jednakże styczek z wyżarzonego materiału stykowego, ponieważ w taki materiał łatwiej wtlaczają się podczas pracy cząsteczki kurzu oraz ponieważ podczas pracy materiał ten odkształcałby się, powodując zmianę wielkości przerwy stykowej [8].

Opór przejścia jest także tym mniejszy, im większy jest nacisk stykowy, jakkolwiek za duży nacisk jest niepożądany z powodu znacznych zniekształceń elementów stykowych i zmęczenia sprężyn stykowych względnie z powodu utrudnienia ruchu obrotowego w wybierakach. Niedopuszczalny jest również za mały nacisk, ponieważ zestyk

T a b l i c a 4

Wartości charakterystyczne do obliczania nacisku stykowego i liczby styceń

| Materiał styceń | Wartości graniczne odkształcenia plastycznego | | R_k przy $R_z = R_v \frac{1}{mm}$ | F_k przy $R_z = R_v \frac{1}{G}$ | F_1 przy $F_{pl} = F_k$ | k_{FI} przy $F_{PI} = F_k$ mm |
|-----------------|---|-----------------------|-------------------------------------|------------------------------------|---------------------------|---------------------------------|
| | a_{pl}/σ_{pl} | $F / \sigma_{pl}, mm$ | | | | |
| Srebro | 0,022 | 68 | 0,04 | 330 | 220 | 1,8 |
| Złoto | 0,012 | 10 | 0,03 | 100 | 60 | 2,5 |
| Platyna | 0,013 | 31 | 0,006 | 9 | 8 | 0,5 |
| Pallad | 0,015 | 36 | 0,006 | 8 | 6 | 0,4 |
| Wolfram | 0,043 | 1800 | 0,01 | 140 | 110 | 0,25 |

^{1/} Przy tylko plastycznym odkształceniu

pracowałyby wtedy niepewnie oraz ponieważ byłyby wówczas za duży wpływ wstrząsów sąsiednich ruchomych podzespołów i kapilarnego przenikania ciekłych substancji, działających korodująco na materiał stykowy [1]. Wpływ wielkości nacisku na niezawodność zestyków z pojedynczymi stycznymi przedstawia tabl. 5 [36].

T a b l i c a 5

Wpływ wielkości nacisku stykowego na prawdopodobieństwo niewłaściwego zadziałania zestyków

| Materiał stycek | Nacisk G | | | |
|---------------------|--|-------------------|-------------------|---------------------|
| | 4 | 10 | 20 | 30 |
| | Prawdopodobieństwo niewłaściwego zadziałania | | | |
| Srebro | - | $2 \cdot 10^{-3}$ | $1 \cdot 10^{-4}$ | $5,5 \cdot 10^{-6}$ |
| Platyna, stop AuNi5 | $1 \cdot 10^{-4}$ | $4 \cdot 10^{-5}$ | $8 \cdot 10^{-6}$ | $1,5 \cdot 10^{-6}$ |

Dlatego też w elementach stykowych rozłącznych zestyków dotykowych stosuje się, z wyjątkiem bardzo nielicznych przypadków, naciski w granicach 10-30 G, najczęściej przy tym w granicach 18-25 G [37], większe zaś naciski stosuje się tylko w przypadku elementów stykowych o dużej twardości, jakim jest na przykład wolfram.

Za optymalne pod względem kształtu uważane są styczniki półkuliste z eliptycznym zaokrągleniem oraz skrzyżowane okrągłe pręty. Taki kształt zapewnia bowiem miejsce styku w pobliżu środka powierzchni stykowej oraz zwiększanie jej w miarę zużycia do powierzchni w kształ-

cie koła. Między wypukłymi elementami stykowymi istnieje ponadto mniejsza możliwość utrzymania się cząsteczek kurzu, pyłu materiału stykowego oraz produktów jego reakcji chemicznych.

3.3.2. Wpływ tarcia

Silne tarcie występuje tylko w zestykach mających ruch ślizgowy, natomiast nieznaczne tarcie występuje także w zestykach dotykowych. Tarcie oraz utlenianie się elementów z nieszlachetnych materiałów stykowych wraz z zakurzeniem w stanie spoczynku powodują wytwarzanie się na nich warstewek izolujących, które powodują z kolei tłumienie prądu i szumy, co zmusza do częstego czyszczenia elementów stykowych oraz ich omywania w obwodach rozmowy. Środki te nie zapewniają jednakże prawidłowej i pewnej pracy zestyków o ruchu ślizgowym, w związku z czym systemy łącznic z wybierakami z takimi zestykami zastępowane są obecnie systemami z wybierakami krzyżowymi i przekaźnikowymi z elementami stykowymi z bardziej szlachetnych materiałów lub z powłoką z tych materiałów. [38].

3.3.3. Inne czynniki

Inne czynniki mechaniczne i konstrukcyjne, jak wielkość przerwy stykowej, szybkość ruchu zestyków oraz energia kinetyczna przy zderzeniu zestyków wpływają na zużycie elementów stykowych w związku z powiązaniem ich

z czasem trwania zjawisk elektrycznych przebiegających podczas otwierania i zamykania obwodu. Szczególnie niekorzystne są odskoki zestyków podczas zwierania, gdyż zamiast jednego wyładowania przy zwieraniu występuje wtedy kilka kolejnych wyładowań zwierania i rozwierania, silnie zwiększających zużycie elementów stykowych oraz sprzyjających ich zgrzewaniu się. Także wstrząsy spowodowane przez sąsiednie ruchome mechanizmy powodują wahania oporu przejścia zestyków wskutek przemieszczania się miejsc styku, składowa zmienna zaś tych wahań powoduje szumy wskutek zmiany napięcia na zestykach. Szczególnie niebezpieczne są wstrząsy periodyczne i o częstotliwości zbliżonej do częstotliwości drgań własnych sprężyn stykowych.

3.4. Wpływ czynników elektrycznych

3.4.1. Uwagi wstępne

Czynniki elektryczne wpływają na elementy z materiałów stykowych tylko w ich stanie nieustalonym, gdyż w stanie rozwartym elementy znajdują się wprawdzie pod napięciem, lecz nie są obciążone prądowo, podczas gdy w stanie zwartym prąd przepływający przez zestyki urządzeń teletechniki łączeniowej jest w przeważającej liczbie przypadków za mały do spowodowania szkodliwego wpływu /przywierania, zgrzewania/ na elementy z materiałów stykowych. Wielkość i rodzaj wpływu czynników elektrycznych zależą od parametrów elektrycznych oraz rodzaju obwodu,

przy czym na zużycie elementów wpływają przede wszystkim zjawiska przebiegające przy przepływie prądu stałego. Zjawiska te nieco różnią się między sobą w czasie otwierania i zamykania obwodu.

Zużycie elementów z materiałów stykowych wskutek czynników elektrycznych może być spowodowane poniższymi zjawiskami:

- powstawaniem mostków między elementami,
- iskrzeniem /krótkimi łukami bezplazmowymi/,
- jarzeniem,
- łukiem plazmowym.

3.4.2. Zjawiska przy otwieraniu obwodu

Gdy obwód jest zamknięty, napięcie na elementach stykowych, wynikające z natężenia przepływającego prądu i oporu przejścia, jest bardzo małe. W miarę zmniejszenia się nacisku przy otwieraniu obwodu maleje także, wobec zmniejszania się odkształceń sprężystych, rzeczywista powierzchnia przewodząca elementów stykowych, co powoduje zwiększanie się na nich napięcia oraz miejscowe zwiększenia oporu i gęstości prądu wskutek zagęszczania się linii sił pola elektrycznego. I tak w miarę zmniejszania się nacisku napięcie zwiększa się z kilku miliwoltów do 0,5 - 1,5 V, a gęstość prądu zwiększa się lokalnie do 10^7 A/cm², w wyniku czego temperatura w miejscach styku, zgodnie z zależnościami

$$T_{Ag, Au} = 3100 \sqrt{U^2 + 0,009}$$

$$T_{\text{platynowce}} = 2800 / U - a/,$$

w których

U - napięcie na stykach, V

a - 0,075 dla platyny i 0,095 dla palladu,

zwiększa się do temperatury topnienia metalu [5].

W miarę postępującego oddalania się elementów stykowych, wskutek napięcia powierzchniowego ciekłego metalu, tworzy się między elementami mostek, który po osiągnięciu temperatury wrzenia, w wyniku zwięźnienia się mostka, przerywa się z powodu parowania metalu. To przerywanie, zachodzące asymetrycznie, powoduje przenoszenie materiału stykowego z anody do katody, czyli tzw. erozję mostkową anody. Erozja mostkowa jest zjawiskiem bardzo szkodliwym, ponieważ w wyniku erozji na katodzie wytwarzają się ostrza, a na anodzie krater, które przedłużają przy następnych przerywaniach prądu czas działania zestyków o czas ruchu ostrza w kraterze, co może spowodować poważne zniekształcenia impulsów. Ponadto, jeżeli nastąpiło boczne przesunięcie elementów stykowych, ostrza nie trafia wtedy w krater, przez co ruch wzajemny elementów zmniejsza się o długość ostrza, co także może zakłócić pracę zestyków [39]. Ostrza i krater powodują wreszcie nierównomierność oporu przejścia [5].

Okres powstawania mostków trwa 50-100 mikrosekund, a przerwa między elementami stykowymi po tym czasie wynosi 10^{-5} cm, czyli, że przerwa ta jest mniejsza niż długość swobodnej drogi elektronów. Do uzyskania przerwy o

wielkości tej długości trzeba jeszcze 5-10 mikrosekund, przy czym w tym czasie temperatura między elementami wynosi około 1900°C , wskutek czego emisja elektronów jest mała. Jeżeli jednak w obwodzie znajduje się indukcyjność, co zwykle występuje w obwodach zestyków urządzeń teletechniki łączeniowej, wtedy energia nagromadzona w obwodzie powoduje przepięcia i zwiększenie natężenia pola w otwieranym obwodzie, co z kolei powoduje zwiększenie emisji elektronów i powstawanie iskrzenia /krótkich łuków/ wskutek częściowego zjonizowania atomów metalu w stanie gazowym. To zjawisko trwa do czasu, aż przerwa stykowa osiągnie wielkość odpowiadającą kilkakrotnej długości swobodnej drogi elektronów [40].

Zwiększona emisja elektronów powoduje zwiększenie temperatury anody i zwiększenie jej parowania, co związane jest ze zwiększonym przenoszeniem materiału stykowego z anody do katody, które jest około 5000 razy większe wskutek iskrzenia niż wskutek erozji mostkowej.

Łączne przenoszenie materiału anody wskutek tych dwóch zjawisk podczas jednego otwarcia obwodu jest rzędu $10 \cdot 10^{-12}$ G [41]. Przenoszenie to ilościowo nie jest wielkie, lecz w skutkach swych, wobec zmiany kształtu powierzchni elementów stykowych, bardzo niekorzystne.

Z powyższymi zjawiskami przenoszenia materiału stykowego z anody do katody usiłowano walczyć m. in. przez okresowe zmiany biegunowości zestyków lub przez stosowanie elementów stykowych o różnej temperaturze topnienia, przy czym katoda była z materiału o niższej temperaturze topnienia [45].

To ostatnie rozwiązanie jest jednak trudne do uzyskania wobec konieczności każdorazowego doboru materiałów zależnie od parametrów elektrycznych obwodu oraz niekorzystne wobec powstawania różnicy potencjałów między elementami stykowymi, która ułatwia powstawanie łuku i przyspiesza korozję elementów w atmosferze o dużej wilgotności. Ponadto różnica twardości materiałów stykowych powoduje większe zużycie elementu o mniejszej twardości [1].

Znacznie lepszym rozwiązaniem jest dobór materiału stykowego o zmniejszonej podatności do przenoszenia, którą uzyskuje się w przypadku stopów przez dodatek metalu o mniejszym napięciu jonizacji w stanie gazowym /na przykład przez dodanie niklu do złota/, co jest jednakże możliwe tylko wtedy, gdy zasadniczy składnik stopowy ma duże napięcie jonizacji /dlatego praktycznie nie jest to możliwe w przypadku srebra/. Jest przy tym istotne, iż stop o określonej zawartości dodatku stopowego nie wykazuje żadnego przenoszenia tylko przy określonej indukcyjności obwodu /o wielkości zależnej od napięcia w obwodzie/ oraz poniżej pewnej, na ogół bardzo małej indukcyjności, przy której zachodzi tylko erozja mostkowa. Przenoszenie z anody do katody zachodzi przy zawartości dodatku stopowego poniżej wspomnianej charakterystycznej jego zawartości, a z katody do anody powyżej tej zawartości. Im większa jest zawartość dodatku stopowego, tym przy mniejszej indukcyjności obwodu występuje powyższy punkt zwrotny [8, 42, 43, 44].

Jak widać z powyższych danych, również ostatnie rozwiązanie jest stosunkowo kłopotliwe, wobec czego w praktyce z przenoszeniem materiału stykowego walczy się przeważnie za pomocą gasików. Gasiki stosuje się na ogół, jeżeli prąd w obwodzie przekracza 100 mA, ponieważ przy mniejszych prądach przenoszenie materiału stykowego nie wpływa w sposób istotny na zużycie zestyków [40]. Niekiedy uzależnia się stosowanie gasików także od mocy prądu, która nie powinna przekraczać 50-60 W w przypadku zestyków o normalnej częstotliwości ządziałań i 20 W w przypadku zestyków szybko działających [66]. Niekorzystna jest również za duża wilgotność, która sprzyja powstawaniu iskrzenia [1].

Po zwiększeniu się przerwy stykowej do wielkości odpowiadającej kilkakrotnej długości swobodnej drogi elektronów tylko niektóre z nich osiagają wtedy anodę, wobec czego w tym czasie nie może zachodzić jej nagrzewanie się i parowanie materiału stykowego. Elektrony jonizują natomiast powietrze znajdujące się w przerwie stykowej i mogą przy odpowiednich warunkach spowodować jarzenie, które trwa nieprzerwanie lub z przerwami, zależnie od parametrów elektrycznych i charakteru obwodu. Jarzenie powoduje także zużycie anody i katody, lecz zużycie to jest znacznie mniejsze niż skutek iskrzenia, które jest najbardziej szkodliwe dla zestyków przewodzących prąd o małym natężeniu i przy małym napięciu [40]. Tym niemniej przenoszenie materiału stykowego podczas jarzenia jest niekorzystne, gdyż ułatwia

ono wytwarzanie się iskrzenia wskutek osadzania się materiału stykowego na stykach.

Jeżeli energia nagromadzona w obwodzie z indukcyjnością jest odpowiednio duża lub jeżeli opór obwodu jest mały, wtenczas jarzenie może przejść w łuk plazmowy, który wytwarza się dopiero przy prądzie i napięciu o pewnej minimalnej wielkości, zależnej od materiału stykowego, wynoszącej na ogół ponad 0,5 A względnie ponad 12 V [32, 46]. Takie warunki występują rzadko w urządzeniach teletechniki łączeniowej, walczy się zaś z ich skutkami również za pomocą gasików i doboru odpowiedniego materiału stykowego. Łuk plazmowy powoduje bowiem znaczne zużycie styczek, połączone z przenoszeniem materiału stykowego z katody do anody. Ponadto, jeżeli temperatura dysocjacji albo sublimacji tlenku wytwarzającego się wskutek łuku jest wyższa niż temperatura łuku plazmowego, zachodzi wtedy zanieczyszczenie powierzchni materiału stykowego, w związku z czym tak go dobiera się, aby łuk powodował samooczyszczenie materiału stykowego, gdy moc przewodzonego prądu, a tym samym i temperatura łuku są małe.

Jak wspomniano, przedstawiony powyżej przebieg zjawisk dotyczy obwodów z indukcyjnością. Podobne zjawiska, lecz o innym przebiegu zachodzą również w obwodach z oporem rzeczywistym, natomiast nie występują one przy otwieraniu obwodów o charakterze pojemnościowym [40]. Zjawiska te, jakkolwiek bardzo niekorzystne, nie są jednak w obecnym stanie techniki groźne, gdyż można skutecznie im przeciwdziałać za pomocą gasików, stosowania obwodów o

możliwie małej indukcyjności oraz doboru materiału stykowego.

3.4.3. Zjawiska przy zamykaniu obwodu

Przy zamykaniu obwodu zjawiska przebiegają w przeciwnej kolejności niż przy jego otwieraniu, przy czym najbardziej wpływa na przebieg tych zjawisk pojemność obwodu, która podtrzymuje iskrzenie, występujące po zbliżeniu się zestyków na odległość około 10^{-4} cm. W miarę dalszego zbliżania się zestyków może ponadto wytworzyć się mostek stopionego materiału stykowego. Tak więc podczas zamykania obwodu również mogą przebiegać niekorzystne zjawiska, związane z przenoszeniem materiału stykowego z anody do katody.

Zjawisk tych nie można niestety uniknąć, gdyż każdy obwód ma pewną pojemność. Zjawiska te można tylko złagodzić przez umieszczenie w obwodzie dodatkowego oporu, przez dobór materiału stykowego o możliwie dużym napięciu krytycznym powstawania iskry oraz przez stosowanie materiału o dużej odporności chemicznej, gdyż wszelkie warstewki obce na powierzchni materiału stykowego obniżają napięcie krytyczne powstawania iskry. Należy wreszcie unikać odskoków zestyków, ponieważ każdy odskok jest związany z dodatkowym otwarciem i zamknięciem obwodu [40, 47].

Obciążenia opornościowe wpływają przy zamykaniu obwodu podobnie jak przy otwieraniu, natomiast obciążenia indukcyjne nie mają znaczenia podczas zamykania obwodu.

3.4.4. Inne zjawiska

Z innych zjawisk elektrycznych zasługuje na uwagę migracja jonów srebra w materiale izolacyjnym pod wpływem pola elektrycznego. Zjawisko to, charakterystyczne tylko dla srebra, występuje w przypadku styków pół wybieraków podnosząco-obrotowych, jeżeli styki srebrne są podzielone porowatym i higroskopijnym materiałem izolacyjnym. Migracja srebra powoduje pogorszenie izolacji i może doprowadzić nawet do zwarcia zestyków.

Ze zjawiskiem tym walczy się drogą wyeliminowania bezpośredniego styku srebra z materiałem izolacyjnym przez zastosowanie dodatkowej przekładni albo pokrycia galwanicznego z innego materiału metalicznego lub też drogą doboru odpowiedniego materiału izolacyjnego [8].

4. ZASADY DOBORU MATERIAŁÓW STYKOWYCH ORAZ ICH WŁASNOŚCI

4.1. Uwagi ogólne

Materiały stykowe należą do grupy materiałów specjalnych, których koszt ma znacznie mniejsze znaczenie niż ich funkcjonalne przeznaczenie. I tak w urządzeniach teletechniki łączeniowej o wartości 10 mln DM koszt materiałów stykowych wynosi zaledwie 1000 DM, zawodne zaś działanie nawet nieznacznej części zestyków może spowodować straty w gospodarce narodowej przekraczające niekiedy wielokrotnie wartość urządzenia [43].

Dobór materiału stykowego zależy od uprzednio omówionych, chemicznych, mechanicznych i elektrycznych warunków pracy zestyków, przy czym dobór ten powinien uwzględniać poniższe własności materiałów stykowych [46,49,50]:

w ł a s n o ś c i f i z y c z n e

- przewodność elektryczna
- graniczne natężenia prądu i napięcia powodujące iskrzenie oraz łuk plazmowy
- podatność do przenoszenia materiału podczas otwierania i zamykania obwodu
- napięcie jonizacji
- praca wyjścia elektronów
- przewodnictwo cieplne
- temperatura topnienia, wrzenia i sublimacji
- ciepło topnienia, parowania i sublimacji
- ciepło właściwe i pojemność cieplna
- zależność prężności pary od temperatury

m i k r o s t r u k t u r a

- orientacja krystalograficzna
- temperatura rekrytalizacji
- napięcie powierzchniowe
- ciężar właściwy

w ł a s n o ś c i c h e m i c z n e

- odporność na czynniki atmosferyczne, opary substancji chemicznych i kurz

- wytrzymałość mechaniczna i elektryczna, oporność właściwa elektryczna i temperatura dysocjacji produktów reakcji chemicznych
- potencjał elektrochemiczny

w ł a s n o ś c i m e c h a n i c z n e

- moduł sprężystości, wytrzymałość na ściskanie i ścisanie, własności plastyczne oraz twardość w stanie wyżarzonym i utwardzonym
- zależność tych własności od temperatury
- współczynnik tarcia
- odporność na ścieranie

i n n e w ł a s n o ś c i

- podatność do przylegania i zgrzewania
- podatność do przeróbki plastycznej
- podatność do lutowania i spawania

c e n a

Niestety nie jest znany i możliwy taki materiał stykowy, który miałby wszystkie optymalne własności, gdyż polepszenie pewnych własności związane jest nieunikinnie z pogorszeniem innych własności, wobec czego dobór tych własności musi być zawsze najdogodniejszym w danych warunkach kompromisem techniczno-ekonomicznym. W przypadku materiałów stykowych urządzeń teletechniki łączeniowej decydują najczęściej o doborze materiałów:

- małe napięcie i małe natężenie przewodzonego prądu,

- małe naciski stykowe,
- wymagany jak najmniejszy opór przejścia i stałość tego oporu, zwłaszcza w obwodach roznowy,
- trwałość i niezawodność zestyków,
- cena materiału stykowego.

4.2. Materiały stykowe zestyków dotykowych rozłącznych

4.2.1. Srebro

Srebro jest obecnie jeszcze najczęściej stosowanym materiałem stykowym, który po wprowadzeniu styków bliźniaczych i podwójnych zastąpił ze względów ekonomicznych stosowaną powszechnie przed pierwszą wojną światową platynę. Szerokie rozpowszechnienie zawdzięcza srebro niskiej cenie, stosunkowo dobrej odporności na korozję w atmosferze suchej i wilgotnej, małej polimeryzacji par substancji organicznych, niskiej temperaturze dysocjacji tlenków, doskonałej przewodności elektrycznej, stosunkowo małemu ciężarowi właściwemu oraz bardzo dobrej podatności do przeróbki plastycznej. Wadami srebra są zaś podatność do przenoszenia materiału między elektrodami wskutek zjawisk elektrycznych, niskie własności wytrzymałościowe, zwłaszcza odporność na ścieranie, podatność do przywierania i zgrzewania, duża prężność pary, utrudniająca gaszenie łuku, a także nieodporność na gazy oraz substancje ciekłe i stałe zawierające siarkę, powodujące wytwarzanie się na srebrze warstewki jego siarczku, szczęśliwie jednakże o stosunkowo małej twardości,

co ułatwia przerwanie ciągłości tej warstewki przy odpowiednim nacisku. Źródłem siarki mogą być atmosfera przemysłowa i miejska, zanieczyszczona siarkowodorem i dwutlenkiem siarki, pot ludzki, zanieczyszczone smary i rozpuszczalniki oraz substancje w stanie stałym znajdujące się w bezpośrednim sąsiedztwie lub w pobliżu zestyków. Odporność srebra na działanie substancji zawierających siarkę jest tym mniejsza, im większe jest utwardzenie srebra oraz im większe są wilgotność i temperatura.

Pomimo powyższych wad, a zwłaszcza wad sprzyjających wytwarzaniu się warstewek izolujących na powierzchni srebra, jest ono, jak dotychczas, szeroko stosowane, dzięki jednoczesnemu zastosowaniu onywania zestyków i gasików w ich obwodach. I tak w Anglii stosuje się stycзки srebrne do obwodów o napięciu do 50 V i natężeniu do 300 mA, gdy zaś obwód jest bezindukcyjny, a częstotliwość za-
działań niezbyt wielka - do obwodów o natężeniu prądu do 1 A [51]. Podobne stanowisko przyjęte jest w NRD [52] i w USA [24].

4.2.2. Stopy srebra

Wyeliminowanie lub zmniejszenie skutków wad srebra jest możliwe przez zastąpienie jego stopami z niektórymi metalami, których wpływ na własności srebra jest następujący [8]:

- Miedź, stosowana w ilości do 10%, polepsza własności wytrzymałościowe oraz zmniejsza podatność zestyków

do przywierania i zgrzewania się, lecz pogarsza odporność chemiczną i tym samym opór przejścia,

- kadm, stosowany w ilości do 15% lub jako tlenek kadmu, sprzyja gaszeniu łuku, zmniejsza przenoszenie materiału wskutek zjawisk elektrycznych oraz zmniejsza podatność do przywierania i zgrzewania się zestyków,

- magnez i nikiel wywierają podobny wpływ jak kadm,

- pallad, stosowany w ilości 30-50%, polepsza odporność na działanie siarki oraz własności wytrzymałościowe i zmniejsza przenoszenie materiału stykowego, lecz zwiększa podatność do polimeryzacji par substancji organicznych,

- platyna, stosowana w ilości do 4%, ma podobny wpływ jak pallad,

- złoto ma podobny wpływ jak platyna i pallad.

Spośród powyższych stopów największe zastosowanie znalazł stop srebra o zawartości 30% palladu, który wobec znacznie lepszej odporności chemicznej jest stosowany przede wszystkim na styczki zestyków obwodów rozmowy. I tak w przypadku zestyków pozostających w stanie spoczynku stop ten zapewnia po 10 latach opór przejścia poniżej 1Ω , podczas gdy w przypadku zestyków pracujących taki opór istnieje po 10^6 zadziałań zestyków. Jeszcze lepszy jest pod tym względem stop o zawartości 50% palladu, lecz stop ten jest niewspółmiernie do zalet droższy i poza tym bardziej podatny do polimeryzacji par substancji organicznych [27, 54]. Trzeba przy tym zaznaczyć, iż wyniki badań w NRD, nie potwierdzające zalet stopów z pallad-

dem [53], nie są zgodne z powszechną praktyką i są skutkiem zastosowania do badań za dużego stężenia siarkowodoru w celu uzyskania bardziej jasnych wyników i przyspieszenia badań.

Szczególną zaletą stopu o zawartości 30% palladu jest jego stosunkowo niska cena, jak to widać z porównania cen materiałów stykowych, przedstawionego w tabl.6 [55]. Dlatego też stop ten znajduje coraz szersze zastosowa-

T a b l i c a 6

Ceny materiałów stykowych z lipca 1962 r.

| Materiał stykowy | Cena w dolarach | |
|------------------|-----------------|-------------------|
| | 1 g | 1 cm ³ |
| Srebro | 0,03 | 0,315 |
| Stop Ag Pd 30 | 0,26 | 2,85 |
| Pallad | 0,80 | 9,60 |
| Złoto | 1,12 | 21,61 |
| Platyna | 2,73 | 58,70 |
| Rod | 4,44 | 55,05 |

nie, co jest zresztą zgodne z zaleceniami CCITT, według których zestyki obwodów rozmowy wszelkich łączności telefonicznych i telegraficznych, a także czułych obwodów sygnałowych i zdalnie sterowanych powinny mieć stycki z materiałów zapewniających możliwie mały i stały opór przejścia w różnych warunkach klimatycznych, bez stosowania omywania zestyków, co w pewnej mierze spełniają stycki ze stopu srebra z palladem, poddawane jednakże omywaniu [27,32,56].

Stop o zawartości 30% palladu stosowany jest również do wybieraków krzyżowych o zwiększonych wymaganiach oraz do wybieraków przekaźnikowych, podczas gdy zestyki normalnych wybieraków krzyżowych, z wyjątkiem obwodów rozmowy, są wykonywane przeważnie ze srebra [7,38,56].

Inne stopy srebra są obecnie rzadko stosowane. I tak stopy z miedzią stosowane są niekiedy na styczniki przekaźników większej mocy, a stopy z kadmem - niektórych specjalnych przekaźników telefonicznych [8]. Natomiast częściej stosowane są spieki srebra z wolframem, używane do zestyków obwodów o natężeniu prądu ponad 1 A [52].

4.2.3. Pallad i jego stopy

W celu uniknięcia szkodliwego wpływu siarkowodoru istniała po ostatniej wojnie światowej, zwłaszcza w USA, dążność do zastępowania srebra przez pallad [8,10]. Pallad okazał się jednakże niezbyt korzystny od czasu rozszerzenia stosowania tworzyw sztucznych w urządzeniach teletechniki łączeniowej wobec największej jego podatności do polimeryzacji par substancji organicznych.

Z tego także względu nie znalazły szerszego zastosowania stopy palladu o zawartości 15% i 40% miedzi, stopy o zawartości do 20% niklu i inne stopy, m. in. odznaczające się przy uporządkowanym rozmieszczeniu atomów w sieci przestrzennej bardzo dobrą odpornością na przenoszenie materiału stykowego wskutek erozji mostkowej i iskrzenia, nawet w obwodach o charakterze pojemnościowym, co powinno wraz z dużą odpornością chemiczną

znacznie polepszyć niezawodność pracy zestyków [8, 54].

Styki z palladu stosowane są obecnie jeszcze w dużej skali w USA do obwodów przewodzących prąd o natężeniu do 1 A [4, 57].

4.2.4. Złoto i jego stopy

Czyste złoto, najodporniejsze chemicznie spośród metali szlachetnych, nie jest stosowane, z wyjątkiem powłok, jako materiał stykowy z powodu za małej twardości i odporności na ścieranie oraz powodowania przywierania i zgrzewania się zestyków. Powłoki ze złota, otrzymywane galwanicznie lub przez odparowywanie w próżni, stosuje się w celu ochrony stycek ze srebra przed działaniem gazów zawierających siarkę [54] oraz w celu zmniejszenia wpływu polimeryzacji par substancji organicznych, powodowanej przez stycki z palladu [12, 58].

Szerokie zastosowanie znalazł natomiast stop złota o zawartości 5% niklu, który poza zaletami złota odznacza się szczególnie małym przenoszeniem materiału wskutek erozji mostkowej i iskrzenia, a tym samym bardzo małym i stałym oporem przejścia. Ponadto stop ten odznacza się małą twardością, co umożliwia stosowanie jego przy naciskach stykowych ponad 5 G, podczas gdy stopy złota /równieżplatyny i palladu/ o zawartości 10% dodatku stopowego wymagają nacisku ponad 15 G, a o jeszcze większej zawartości dodatku stopowego - nacisku ponad 30 G, jeżeli zestyki przewodzą prąd o małym natężeniu i napięciu [59].

Dlatego też stop powyższy jest powszechnie zalecany do zestyków o dużej niezawodności, przewodzących prąd stały o małym napięciu i natężeniu lub prąd zmienny wielkiej częstotliwości oraz pracujących nawet w najbardziej niekorzystnych warunkach klimatycznych. Między innymi jest to najlepszy spośród znanych materiałów stykowy do zestyków obwodów rozmowy, którego zastosowanie pozwala na wyeliminowanie omywania zestyków oraz umożliwia umieszczenie elementów łączeniowych w osłonach wobec małej podatności złota do polimeryzacji par substancji organicznych [27,32,38,54]. Trzeba jednakże zaznaczyć, że według najnowszych badań optymalnymi własnościami charakteryzuje się raczej stop o zawartości 2,2%, a nie 5% niklu [43].

Spośród innych stopów stosowane są niekiedy stopy o zawartości 10-40% srebra, stop typu AuAg26Ni3, stopy o zawartości 10-30% platyny i inne [8,54]. Dodatek metali nieszlachetnych w stopach złota /oraz platynowców/ nie powinien przekraczać 5%, ponieważ w przeciwnym przypadku istnieje niebezpieczeństwo zanieczyszczenia stycek tlenkami metali nieszlachetnych, które nie mają warunków do rozkładu lub sublimacji w zestykach słabo obciążonych elektrycznie [15].

4.2.5. Platyna i jej stopy

Ze względu na cenę platyna i jej stopy są stosowane tylko wtedy, gdy inne materiały stykowe zawodzą w wymaganych warunkach pracy /na przykład przy zwiększonych na-

pięciach, bardzo dużej częstotliwości zaszłań, trudności wygaszenia łuku/. Czysta platyna jest przy tym używana wyjątkowo, przy małych naciskach stykowych, wobec małej twardości.

Stopy platyny odznaczają się doskonałą odpornością chemiczną, dużą twardością i odpornością na łuk plazmowy. Największą twardością odznaczają się stopy o zawartości 5-30% irydu, stosowane niekiedy w wybierakach silnikowych i czułych przekaźnikach, a najmniejszym przeniesieniem materiału stykowego wskutek zjawisk elektrycznych - stop o zawartości 8% niklu lub stop o zawartości 5% wolframu, stosowane na stycki przekaźników bieguncowych i przerywaczy. Wadą stopów platyny jest podatność do polimeryzacji par substancji organicznych [1,8,13,32,47,54,57,60].

4.2.6. Wolfram

Wobec najwyższej temperatury topnienia i najmniejszej prężności pary spośród materiałów stykowych wolfram odznacza się małym zużyciem podczas iskrzenia lub działania łuku plazmowego. Ponieważ jednak on utlenia się z utworzeniem trwałego tlenku oraz ponieważ działają na niego niektóre substancje organiczne, stycki z wolframu wymagają częstego czyszczenia. Usuwanie tych zanieczyszczeń i duża twardość wolframu wymagają nacisków stykowych nie mniejszych niż 100 G.

Stycki z wolframu stosowane są w obwodach bardzo silnie obciążonych elektrycznie i mechanicznie, z zestykami

dużej częstotliwości zadziałań, na przykład w telegraficznych przekaźnikach biegunowych, wibratorach, impulsatorach przekaźnikowych itp. [8,13,57,61]. Styczki takie mają jednakże ograniczone zastosowanie w klimacie tropikalnym [60].

4.2.7. Bimetale i powłoki elektroerozyjne

4.2.7.1. Bimetale. Ze względów ekonomicznych metale szlachetne należy w miarę możliwości zastępować platerowanymi bimetalami, które są dostarczane w postaci nitów, drutów i pasów. Dzięki bimetalom można zaoszczędzić do 60% metali szlachetnych.

Bimetale są zawsze lepsze niż powłoki z metali szlachetnych, wskutek przenoszenia materiału stykowego [1, 4,3,32].

4.2.7.2. Powłoki elektroerozyjne. Powłoki nanoszone elektroerozyjnie stosuje się do polepszenia zestyków pracujących w zainstalowanych urządzeniach teletechniki łączeniowej, w której użyto materiałów stykowych /srebro, stopy miedzi/ nie zapewniających właściwego działania elementów łączeniowych. Powłoki takie są bowiem, poza ostatecznie wprowadzaniem pokrywaniem styków specjalnymi substancjami chemicznymi, najprostszym i najlepszym rozwiązaniem z poniższych względów:

- wymiana styczek jest nieekonomiczna wobec większego kosztu materiałów i dużej pracochłonności,

- czyszczenie styczek jest półśrodkiem pracochłonnym i nie dającym technicznie zadowalających wyników,

- ekonomicznego sposobu wiązania chemicznego gazów, na przykład siarkowodoru, powodujących powstawanie warstewek izolujących, dotychczas nie opracowano,

- ochrona styczek za pomocą osłon wymaga przekonstruowania urządzeń.

Natomiast pokrywanie elektroerozyjne możliwe jest na zainstalowanych urządzeniach oraz jest ekonomiczne, gdyż, na przykład, do złocenia 800 styczek warstwą o grubości 50 mikronów potrzeba zaledwie 1 g złota, a do pokrycia 100 styków nożowych wybieraków podnosząco-obrotowych tylko 1 g stopu srebra z palladem [52,62,63].

4.3. Materiały stykowe zestyków ślizgowych

Do zestyków ślizgowych, pracujących na ścieranie, są stosowane obecnie przeważnie materiały nieszlachetne o dużej twardości, jak mosiądze specjalne, brązy i nowe srebro, wymagające nacisku stykowego wynoszącego do 200 G. Jakkolwiek pewien ruch cierny jest przy tym zawsze korzystny wobec oczyszczania powierzchni styku, w wyniku tarcia wytwarza się jednakże pył metaliczny, który zmieszany z tlenkami łatwo utleniających się metali nieszlachetnych i kurzem tworzy warstewkę izolującą na powierzchni materiału stykowego, powodującą zakłócenia przewodzenia prądu.

Dlatego też ostatnio zaczęto stosować do zestyków pół

wielokrotnych wybieraków stopy srebra o dużej twardości, na przykład stop o zawartości 18% niklu lub też pokrywanie galwaniczne powłoką rodu o grubości do 5 mikronów. Wprawdzie rod jest materiałem bardzo drogim, koszty materiałowe powłoki takiej grubości wynoszą jednakże według obliczeń przeprowadzonych w NRD zaledwie około 0,10 DM [54,64,65].

Niezależnie od tego istnieje ogólna dążność zastępowania wybieraków z zestykami ślizgowymi wybierakami z zestykami dotykowymi.

5. PERSPEKTYWY WYEELIMINOWANIA MATERIAŁÓW STYKOWYCH Z URZĄDZEŃ TELETECHNIKI ŁĄCZENIOWEJ

Wobec zawodności przekaźników dotychczasowej budowy opracowano w ostatnich latach przekaźniki, których zestyki są zatopione w szczelnych rurkach szklanych, wypełnionych gazem obojętnym. Przekaźniki te, nadające się zwłaszcza do obwodów rozmowy, mają zestyki całkowicie zabezpieczone przed kurzem, atmosferą powietrza i parami substancji organicznych, ich parametry elektryczne są jednakże gorsze niż przekaźników o normalnej budowie [67]. Przy dużych obciążeniach elektrycznych stosowane są ponadto przekaźniki z zestykami pracującymi w rtęci. Wspólną wadą obydwóch typów przekaźników jest wysoka cena oraz zajmowanie więcej miejsca.

Najnowszym rozwiązaniem, eliminującym materiały stykowe, jest zastosowanie tranzystorów jako elementów łączeniowych. Jak widać przy tym z tabl. 7, w obecnym sta-

nie techniki zastosowanie tranzystorów jest funkcjonalnie i ekonomicznie uzasadnione co najmniej w obwodach sterowania, gdy jakość tranzystorów jest właściwa [25, 58].

T a b l i c a 7

Porównanie własności charakterystycznych
przełączników i tranzystorów

| Własności | Przełączniki | Tranzystory jako elementy łączeniowe |
|----------------------------------|---|--|
| Opór w stanie zwarcia | $< 150 \text{ m } \Omega$ | 50-500 $\text{m } \Omega$ |
| Opór w stanie rozwarcia | $10^9 - 10^{12} \Omega$ | $< 10^6 \Omega$ |
| Czas przełączania | 10^{-3} sek | $< 10^{-6}$ sek |
| Trwałość /liczba za- działań/ | $10^6 - 10^8$ | $> 10^{12}$ |
| Intensywność błędnych działań | $10^{-7}^{1/}$ | $10^{-12}^{1/}$ |
| Czas odskoku | 250 μs -2 ms | - |
| Zakres temperatur pracy | -20°C do $+120^\circ \text{C}$ | -30°C do $+70^\circ \text{C}$ |
| Odporność na uderzenia | 10 - 100 G | 1000 G |
| Stosunek cen | 1 | 1 do 5 |

^{1/} Brak wyraźnego sprecyzowania kryterium niezawodności oraz, jak wydaje się, zbyt optymistyczna ocena niezawodności tranzystorów.

Dlatego właśnie w ostatnich latach wprowadzane są już częściowo elektroniczne urządzenia teletechniki łączeniowej, w których liczba elementów łączeniowych dotychczasowej budowy zmniejszyła się do 1/5-1/10 w porównaniu do ich liczby w urządzeniach nieelektronicznych,

co oczywiście zmniejsza perspektywiczne znaczenie zestyków. Tym niemniej nie należy spodziewać się, aby w przyszłości mogło nastąpić całkowite wyeliminowanie zestyków rozłącznych, poza tym zaś jeszcze długo będą znajdować się w eksploatacji urządzenia o dotychczasowych zasadach budowy, w których polepszenie pracy zestyków ma istotne znaczenie. Ponadto wprowadzenie tranzystorów i mikromodułów związane jest z dysponowaniem niezawodnych zestyków, pracujących bez obciążeń, co tylko przesunie punkt ciężkości z jednych do drugich zestyków [15, 69, 70].

WYKAZ LITERATURY

1. M. Miłkowska. Zagadnienia stykowe w automatycznych łącznicach telefonicznych, Zesz. Nauk. Politechn. Wrocławskiej, Łączność 1 /1958/ /1/ 63/103.
2. Schlögl. Zum Problem der Lebensdauer von Relais und Kontakten in der Fernsprechvermittlungstechnik, Ztschr. Post. Fernmeldew. 13 /1961/ /15/ 581/4.
3. J. Wolniewicz. Zagadnienia styków w telekomunikacji, Instytut Łączności /1960/.
4. A.P. Goetze. Relay contact life in central offices, Bell Labor. Record 35 /1957/ /2/ 65/8.
5. A. Hentsch. Neuere Untersuchungen und Entwicklungstendenzen auf dem Gebiet der elektrischen Kontaktwerkstoffe, Kontaktwerkstoffe in der Elektrotechnik, Akademie - Verlag, Berlin /1962/ 11/3.

6. K. Kassenberg, J. Ruciński. Elementy łączeniowe, sygnalizacyjne i zabezpieczeniowe, PWT, Warszawa /1952/6/.
7. R. Krause. Ortsunter mit Wählbetrieb, Verlag Herzog, Goslar /1962/.
8. A. Keil. Werkstoffe für elektrische Kontakte, Springer-Verlag, Berlin /1960/.
9. W.W. Usow, A.S. Zajmowski. Prowodnikowyje, reostatnyje i kontaktnyje materialy, Gosnergoizdat, Moskwa /1957/.
10. H. Lipke, W. Clement. Untersuchungen über die Einwirkung einiger Werkstoffe der Amtsbautechnik auf Silber - und palladiumhaltige Kontaktwerkstoffe, NTZ 13 /1960/ /9/ 431/5.
11. H. Engel. Wählergeräusche und Schwunderscheinungen in Telephonzentralen, Techn. Mitt. PTT 39 /1961/ /4/ 125/32.
12. J. Tlamsa, J. Nussberger. Über die Wirkung organischer Dämpfe auf Kontaktwerkstoffe in der Fernmelde-technik, Nachrichtentechnik 13 /1963/ /7/ 272/8.
13. G. Klute. Kontakte in Fernmeldeanlagen, Fernmelde-Praxis 37 /1960/ /16/ 665/8.
14. H. Mauch. Bestimmung des Dampfdruckes von Weichmachungsmitteln und Isolierung von Weimacherdampfen aus der Luft, Techn. Mitt. PTT 38 /1960/ 143/8.

15. A. Keil. Der elektrische Kontakt als Gegenstand der Forschung und eines internationalen Erfahrungsaustausches, Bull. ASE 55 /1964/ /2/ 51/8.
16. H.J. Keefer. Dust on relay contacts, Bell Labor. Record 35 /1957/ /1/ 25/8.
17. H.W. Hermance, T.F. Egan. Organic deposits on precious metal contacts, Bell Syst. Techn. J. 37 /1958/ 739/76.
18. L.H. Germer, J.L. Smith. Organic vapor and relay contacts, Bell Labor. Record 26 /1958/ 122.
19. A. Keil. Eine spezifische Korrosionserscheinung an Wolfram - Kontakten, Werkstoffe und Korrosion 3 /1952/ 263.
20. Th. Gerber. Isolierende kohlenstoffhaltige Deckschichten an Relaiskontakten, Techn. Mitt. PTT 37 /1959/ /8/ 283/303.
21. L.H. Germer. Arcing at electrical contacts on closure, Part IV. Activation of contacts by organic vapor, J. appl. Phys. 25 /1954/ 322.
22. R.H. Gunley. Contact phenomena in sealed containers, Bell Labor. Record 32 /1954/ 226/30.
23. P.P. Kisliuk. Arcing at telephone relay contacts, Bell Labor, Record 34 /1956/218.
24. L.H. Germer, J.L. Smith. Activation of electrical contacts by organic vapors, Bell Labor. Record 36 /1957/ 769.

25. K. Thielecke. Anwendung von Kontakten in Schwachstrom-technik, Kontaktwerkstoffe in der Elektrotechnik, Akademie - Verlag, Berlin /1962/ 11/3.
26. H.J. Keefer, R.H. Gumley. Relay contact behaviour under non-eroding circuit conditions, Bell Syst. Techn. J. 37 /1958/ 777/814.
27. L. Borchert. Über die Auswahl von Kontaktwerkstoffen für Fernsprechverbindungen, NTZ 14 /1961/ /4/ 175/9.
28. H.L. Halstrom. Some comments on the tarnishing of silver contacts, Teletechnik 4 /1960/ /2/ 29/39.
29. Smolkova. Nahrada trichloroetylenu vhodnejši latkou, Vyskumny Ustav Spoju /1963/.
30. J. Henry. Un lubrifiant conducteur pour tous emplois en électronique, Electron. Industrielle /1961/ /47/ 323/5.
31. G. Wiśniewski. Informacje z praktyki w Holandii w 1963 r.
32. Hütte IV B, Elektrotechnik, Teil B, Fernmeldetechnik, Berlin /1962/.
33. L. Borchert, K.L. Rau. Die verschiedenen Frittarten und die Grundlagen zu ihrer Beurteilung, NTZ 14 /1961/ /11/ 555/9.
34. L. Borchert, K.L. Rau. Vergleichende Untersuchungen verschiedener Frittarten, NTZ 15 /1962/ /3/ 119/24.
35. W. Rieder. Die Beurteilung der Kontaktwerkstoffe für elektrische Schaltgeräte, Bull. ASE 53 /1962/ /18/ 330/40.

36. W. Kahlert. Studie über Subminiaturrelais für die neue Fernsprechvermittlungs-, Steuer - und Regelungs-, sowie Rechenmaschinenteknik, Mitt. Zentrallabor. Fernmeldetechnik, Berlin /1960/.
37. E. Nehring. Kontaktanwendung in der Fernsprechvermittlungstechnik, Kontaktwerkstoffe in der Elektrotechnik, Akademie - Verlag, Berlin /1962/ 164/8.
38. H. Just. Koordinatenschalter und Edelmetall-Schnellkontakt- Relais, Unterrichtsblätter Deutsch. Bundespost, Ausg. B 17 /1964/ /2/ 27/8.
39. C. Rajski. Materiały stykowe, Przegl. Telekomun. 26 /1953/ /8/ 262/72.
40. L. Borchert. Ursachen der Zerstörung von schwachbelasteten Kontakten der Nachrichtentechnik und Kontaktschutz durch eine Funkenlöschung, ETZ-A, 78 /1957/ /19/ 702/12.
41. H. Schneider. Feinwanderungsuntersuchungen an Ag und Ag - Legierungen, Kontaktwerkstoffe in der Elektrotechnik, Akademie - Verlag, Berlin /1962/ 134/9.
42. H.E. Linckh. Die Untersuchung der Werkstoffwanderung bei elektrischen Kontakten, ETZ-A 72 /1951/ 79/83.
43. W. Merl. Stoffwanderung an Gold- und Gold- Nickel-Kontaktstücken, ETZ-A 77 /1956/ 201/5.
44. J. Warham. The effect of inductance of fine transfer between platinum contacts, Proc. IEE 100 /1953/ 163/8.

45. K. Cutia, S. Igii, T. Okamoto, Ch. Kikuta, Zależność między materiałem styczek i trwałością przekaźników biegunowych w technice łączności, J. Inst. Electr. Commun. Engrs. Japan 45 /1962/ /1/ 35/43; Riefier, Żurn. Radiotiechn. i Elektroswiaź /1963/ /4/ 4B 518.
46. W. Rieder. Die Beurteilung der Kontaktwerkstoffe für elektrische Schaltgeräte, Bull. ASE 53 /1962/ /18/ 830/40.
47. E. Freudiger. Elektrische Kontakte, Bull. ASE 48 /1957/ /20/ 873/8, 895/6.
48. H.G. Rassman. Einführung in die Konferenz "Kontaktwerkstoffe in der Elektrotechnik", Kontaktwerkstoffe in der Elektrotechnik, Akademie- Verlag, Berlin /1962/ 11/3.
49. H. Schreiner. Systematik der Kontaktstoffe und Starkstromkontakte, Z. Metallkunde 48 /1957/ 180/90.
50. W.W. Usow. Metalłowiedzenie elektriczeskich kontaktow, Gosenergoizdat, Moskwa /1963/.
51. Anon. Convention on electrical contacts, Proceed. IEE 100 I /1953/ 154/6.
52. E. Kaiser. Untersuchungen über funkenelektrische Auftragen von Edelmetall auf Kontakte, Kontaktwerkstoffe in der Elektrotechnik, Akademie- Verlag, Berlin /1962/ 179/88.
53. A. Hentsch. Untersuchungen über den Widerstand sulfidierter Kontakte aus Silber und Silberlegierungen,

- Kontaktwerkstoffe in der Elektrotechnik, Akademie-Verlag, Berlin /1962/ 126/33.
54. H. Schlegel. Stand und Entwicklung der schmelztechnisch hergestellten Edelmetall- Kontaktwerkstoffe, Kontaktwerkstoffe in der Elektrotechnik, Akademie-Verlag, Berlin /1962/ 29/66.
55. Anon. Comparisons of materials. Prices of materials, Materials in Design Engng 58 /1963/ /5/ 45.
56. L. Borchert. Über die Auswahl von Kontaktwerkstoffen für Fernsprechverbindungen, Entwicklungsberichte Siemens- Halske /1961/ /2/ 131/5; NZT 14 /1961/ /4/.
57. Th. Gerber. Kontaktmetalle und Relaiskontakte. Eigenschaften und vergleichende Untersuchungen, Techn. Mitt. Ptt 33 /1955/ /3/ 89/114.
58. Anon. New contacts for wire- spring relays, Bell Labor. Record 34 /1956/ /3/ 117.
59. J. Šavel. Doteky a dotekové materiály provedli malá napeti a proudy, Slaboproudy Obzor 15 /1954/ /11/ 531/3, /12/ 579/86.
60. D. Murmann. Aufbau und Eigenschaften von Relais für die Telegrafien- und Signaltechnik, Fernmelde- Praxis 38 /1961/ /18/ 705/18.

61. F. Rockett. New relay materials improve performance, Electronics 28 /1955/ /1/ 144/3.
62. N. Belopitow. Verminderung der Geräusche in Schwachstromgeräten durch Veredelung ihrer Kontakte mittelst elektrischer Funken, Nachrichtentechnik 10 /1960/ /4/ 172/7.
63. E. Kaiser. Untersuchungen über das funkenelektrische Auftragen von Edelmetall auf unedlere Kontakte und die Anwendung dieses Verfahrens in der Fernsprechvermittlungstechnik, Mitt. Inst. Post. Fernmeld. /1963/ /1/ 25/30.
64. H. Thunack. Der Rhodiumsulfat- Elektrolyt und die Verwendung von Rhodium als Korrosionsschutz, Elektrie 17 /1963/ /3/ 77/80.
65. Anon. Rhodium plated uniselectors. Improved contact performance at low voltage, Platinum Metals Rev. 4 /1960/ /2/ 65.
66. M. Hebel. Das Fernmelderelais, Verlag Oldenburg, München /1956/.
67. K. Thielecke. Fernmelderelais- Gegenwärtiger Stand und Entwicklungstendenzen, Nachrichtentechnik 11 /1961/ /12/ 550/3.
68. H.J. Mau. Kontaktloses Schalten, Kontaktwerkstoffe in der Elektrotechnik, Akademie- Verlag, Berlin /1962/ 117/25,

69. F. Haas, M. Bremberger. Steckverbindungen in der Nachrichtentechnik, ETZ-B 14 /1962/ 124/8.
70. J. Bernutz, F. Beerbaum. Vielpolige Steckverbindungen mit 2,54 - bzw. 2,5 mm Kontaktteilung für gedruckte Schaltungen, SEL- Nachr. 9 /1961/ /2/ 87/93.

