

## UDC 621.331.3

A. BIAŁOŃ (INSTYTUT KOLEJNICTWA), A. DŁUŻNIEWSKI (POLITECHNIKA ŚLĄSKA),  
A. KAZIMIERCZAK, M. LASKOWSKI (INSTYTUT KOLEJNICTWA)

Institut Kolejnictwa, 04-275 Warszawa, ul. Chłopickiego 50, Tel. +48 22 4731453, fax. +48 22 4731036,  
e-mail: [abialon@ikolej.pl](mailto:abialon@ikolej.pl), [adluzniewski@ikolej.pl](mailto:adluzniewski@ikolej.pl), [akazimierczak@ikolej.pl](mailto:akazimierczak@ikolej.pl), [mlaskowski@ikolej.pl](mailto:mlaskowski@ikolej.pl)

Politechnika Śląska, Wydział Transportu Zespół Automatyki w Transporcie, ul. Krasińskiego 8,40-019 Katowice,  
tel. +48326034136 e-mail: [andrzej.bialon@polsl.pl](mailto:andrzej.bialon@polsl.pl)

## GENERACJA ZABURZEŃ RADIOELEKTRYCZNYCH NA STYKU PANTOGRAF - PRZEWÓD JEZDNY

### 1. Wprowadzenie

Typowym przykładem ruchomego zestyku ślizgowego typu nierozłącznego jest współpraca nakładek ślizgacza z przewodem jezdny w pantografowym odbieraku prądu. Wzajemne współdziałanie stykających się powierzchni odbywa się przy udziale tarcia zewnętrznego w wyniku istnienia siły dociskającej normalnej oraz siły stycznej powodującej przemieszczanie się powierzchni względem siebie. W tarciu biorą udział warstwy powierzchniowe, podpowierzchniowe i środowisko, w którym ono przebiega.

Rzeczywista styczność trących się elementów nie występuje na całej geometrycznej powierzchni, lecz na bardzo małych fragmentach przenoszących całe obciążenie. W trakcie przemieszczania się ślizgacza wzdłuż przewodu jezdny, pod wpływem siły dociskowej, następuje zginięcie nierówności i tworzą się mikro powierzchnie zestyku mechanicznego, które są rozłożone przypadkowo stanowiąc jednocześnie elementarne zestyki elektryczne.

Stykające się powierzchnie, tworzące ruchomy zestyk ślizgowy charakteryzują dwie właściwości ze względu na pracę przepustową zestyku, a mianowicie: mikroporowatość i występowanie cienkich warstw.

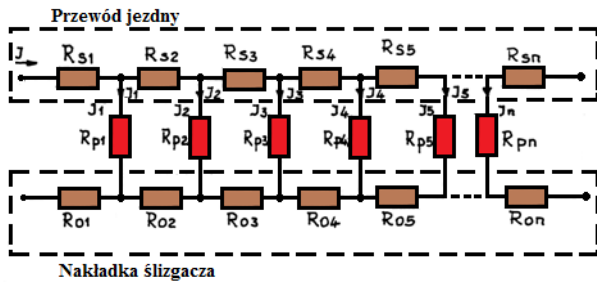
W zestyku ślizgowym jaki stanowią przemieszczające się nakładki ślizgacza wzdłuż przewodu jezdny występuje wiele różnych powiązanych ze sobą zjawisk: elektrycznych, cieplnych, strukturalnych i fizykochemicznych w materiale.

Nawet przy bardzo starannym przygotowaniu powierzchni rzeczywista powierzchnia styczności stanowi tylko nieznaczną część pozornej powierzchni styku, przez którą przepływa prąd elektryczny. Zatem od jakości pracy zestyku ślizgowego zależy między innymi poziom generowanych zaburzeń radioelektrycznych.

### 2. Przepływ prądu przez zestyk ślizgowy

Prąd elektryczny jest przewodzony przez rozłożone losowo mikropowierzchnie styczności, które tworzą rezystancję zestykową złożoną z rezystancji kształtu bądź przewężenia  $R_k$  oraz rezystancję warstwy nalotowej  $R_n$ . Rezystancja kształtu spowodowana jest zagęszczeniem strug prądu w skutek zmniejszenia się czynnego przekroju na stykających się mikropowierzchniach. Rezystancja warstwy nalotowej wywołana jest przez obecność obcych warstewek na powierzchni styku. Wartość rezystancji  $R_n$  uzależniona jest od grubości warstwy absorbcyjnej (przyleganie powierzchniowe) i warstwy korozyjnej (objętościowej), zawierającej związek np. miedzi z gazem otaczającej atmosfery. Sieć jezdna oraz starsze typy ślizgaczy odbieraków prądu na postoju narażone są na działanie wielu czynników podwyższających rezystancję przejścia przez zwiększenie grubości warstwy nalotowej. Bardzo dobre własności smarowne wykazuje grafit, dzięki dużej adhezji do materiału podłoża. Cechą wszystkich smarów grafitowych jest zwiększenie rezystancji przejścia wynikającej z większej rezystywności węgla w porównaniu z miedzią. Dlatego obecnie eksploatowane ślizgacze mają sproszkowaną miedź.

Analizę pracy zestyku ślizgowego najdogodniej jest przeprowadzić na dyskretnym modelu rezystancji zestykowej, który w ogólnym przypadku składa się z przestrzennej sieci rezystancji, odpowiadającej skończonej liczbie zestyków elementarnych. Schemat zastępczy struktury dyskretnego modelu zestyku ślizgowego pokazany jest na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat zastępczy dyskretnego modelu rezystancji zestykowych

gdzie:

$R_{s1} \div R_{sn}$  – rezystancje elementarne dla odcina przewodu jezdnyego tworzącego pozorną geometryczną powierzchnię styczności z nakładką ślizgacza,

$R_{p1} \div R_{pn}$  – rezystancje zestyków odpowiadające skończonej licznie zestyków elementarnych pomiędzy przewodem jezdnyym a nakładką ślizgacza,

$R_{o1} \div R_{on}$  – rezystancje elementarne nakładki ślizgacza,

$I_1 \div I_n$  – prądy płynące przez elementarne rezystancje zestykowe, przy czym suma prądów wyrażona jest zależnością(1):

$$\sum_{l=1}^n I_l = I_1 + I_2 + \dots + I_n = I \quad (1)$$

W celu uproszczenia modelu ograniczono się do złącza stykowego, złożonego z jednego przewodu jezdnyego i pojedynczej nakładki stykowej, opisanego w jednym wymiarze geometrycznym. Prąd przepływający przez zestyk ślizgowy stanowi sumę wszystkich elementarnych prądów przepływających przez poszczególne mikropowierzchnie styczności.

Spełniony jest warunek:

$$R_{s_i} < R_{p_i} \quad \text{oraz} \quad R_{o_i} < R_{p_i}$$

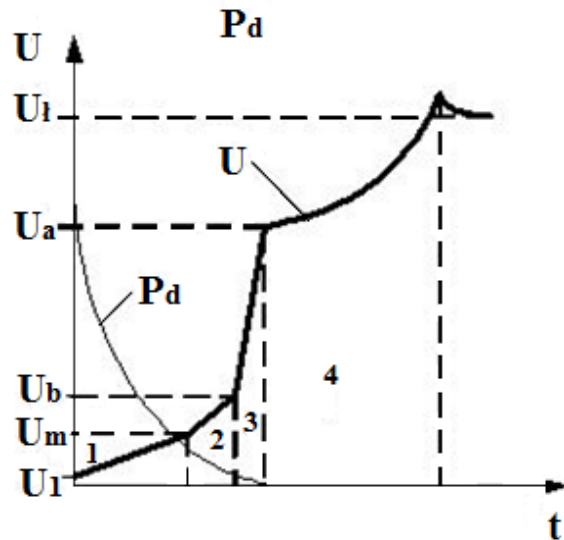
Liczba mikropowierzchni styczności, którym są przyporządkowane rezystancje  $R_{p_i}$  do  $R_{p_n}$  zależą od twardości materiału i wartości siły docisku w zestyku. Elementarne rezystancje  $R_{p_i}$  do  $R_{p_n}$ , mikropowierzchnie styczności, rozłożone losowo nie mają zwykle jednakowych powierzchni, ukształtowanych pod wpływem działania siły. Wobec tego utworzone stykające się mikropowierzchnie nie mają jednakowej rezystancji. Płynące przez nie prądy nie będą miały jednakowej wartości, to znaczy:  $I_1 \neq I_2 \neq \dots \neq I_n$

Zwiększenie wartości prądu przepływającego przez cały zestyk spowoduje wzrost prądów przepływających przez poszczególne rezystancje  $R_{p_i} \dots R_{p_n}$ . Przy zbyt dużych gęstościach prądu,

płynącego przez niektóre elementarne zestyki, wzrośnie ich temperatura, co wywoła zwiększenie oporu właściwego materiału, a tym samym zwiększenie elementarnej rezystancji zestykowej, zmieniając chwilowo stan rozplywu prądów. Jest to oczywiste w zakresie temperatur nie powodujących topnienia materiału, gdyż wtedy ulega również zmianie promień mikropowierzchni styczności i rezystancja maleje.

W warunkach dynamicznej pracy styku ślizgowego, jak np. podczas współpracy odbieraka prądu z siecią trakcyjną ślizgacz wykonuje drgania w płaszczyźnie pionowej i dochodzi wtedy do odrywania się nakładek ślizgacza od przewodów jezdnych.

Wraz z rozchodzeniem się styków maleje gwałtownie siła docisku i na ostatnich stykających się mikropowierzchniach tworzą się ciekłe mostki kontaktujące. Powstanie mostka jest uwarunkowane charakterystyczną zmianą spadku napięcia na stykach, pokazaną na rysunku 2.



Rys. 2. Rozkład spadku napięcia oraz siły dynamicznej w zestyku przy rozchodzeniu się styków

W początkowym okresie rozchodzenia się styków, w wyniku wzrostu gęstości prądu spadek napięcia wrasta od wartości  $U_1$  do wartości  $U_m$ , przy której materiał stykowy ulega stopieniu i tworzy się płynny mostek / etap 1/. Wartość spadku napięcia  $U_m$  dla zestyków miedzianych w pierwszym etapie wynosi 0,43V.

Jeżeli proces rozchodzenia się styków nie będzie przerwany, to przy wartości spadku napięcia  $U_b = 0,82V$  temperatura mostka osiągnie temperaturę wrzenia metalu i rozpoczyna się etap odparowywania materiału /etap 2/. Jest to etap erozji mostkowej.

Następnie napięcie na zestyku wzrasta nadal gwałtownie do wartości  $U_a$  /etap 3/. Występuje wtedy łuk krótki zwany iskrzeniem, w którym o wartości spadku napięcia decydują jedynie zjawiska przyelektrodowe. Wartość napięcia  $U_a$  zależy od jonizacji par materiału stykowego i potencjału odpowiadającego pracy wyjścia elektronów z powierzchni pełniącej rolę katody.

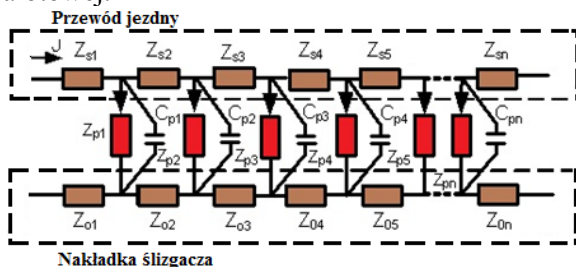
Palenie się łuku elektrycznego z wytworzoną plazmą następuje w etapie czwartym rozchodzenia się styków, po przekroczeniu wartości napięcia zapłonu łuku, które dla styków wykonanych z miedzi wynosi około 13V. Z chwilą zapłonu łuku rezystancja zestykowa jako taka przestaje istnieć i obszar międzystykowy jest reprezentowany przez napięcie łuku  $U_l$ . Erozja łukowa materiałów styku jest uwarunkowana energią wydzieloną w kanale łukowym podczas rozejścia się styków.

Czasy tworzenia wymienionych etapów są bardzo krótkie i wynoszą:  $30 \div 100\mu s$  dla etapu 1,  $15 \div 20 \mu s$  dla etapu 2 i  $1 \div 10ns$  dla etapu 3.

### 3. Powstawanie zaburzeń radioelektrycznych w zestyku ślizgowym

Powstawanie zaburzeń radioelektrycznych najdogodniej jest przeanalizować na podstawie zmodyfikowanego schematu zastępczego struktury dyskretnego modelu zestyku pokazanego na rysunku 3.

Schemat zastępczy pokazany na rysunku 3 w stosunku do schematu z rysunku 2 z punktu widzenia przebiegów wielkiej częstotliwości wymaga uzupełnienia. Oprócz występujących elementarnych rezystancji  $R_{s_i}$ ,  $R_{p_i}$  należy uwzględnić występujące elementarne indukcyjności i pojemności. Indukcyjności elementarne są rzędu nH. Pojemność zestyku wynosi od dziesiątków do setek pF w zależności od rodzaju zestyku. Wartości pojemności elementarnych  $C_{p_1} \dots C_{p_n}$  zależą od gładkości powierzchni oraz od rodzaju i własności warstwy nalotowej.



Rys. 3. Schemat zastępczy dyskretnego modelu impedancji zestykowych

Z mechanicznej teorii styczości wynika, że wartości indukcyjności jak i pojemności elementarnych są zmiennymi przypadkowymi,

nawet przy spełnieniu warunku, że siła docisku ma wartość stałą.

Podczas przemieszczania się ślizgacza wzdłuż przewodu jezdnego prąd płynie przez stale zmieniające się mikropowierzchnie styczości. Jedne zanikają a inne są w stadium nawiązywania. Oznacza to, że wartość rezystancji przejścia dla niektórych mikropowierzchni styczości będzie dążyć do nieskończoności, a innych do wartości rezystancji ustalonej po nawiązaniu chwilowego zestyku. Czyli jeden elementarny zestyk będzie w trakcie nawiązywania, a drugi w trakcie przerywania.

W celu uproszczenia modelu przyjęto, że stykające się mikropowierzchnie mają kształt półkul. Na powierzchni przewodu jezdnego może występować warstwa tlenkowa, półprzewodnikowa, izolacyjna i warstewka przewodzącego grafitu, pochodząca od nakładek ślizgacza.

W procesie nawiązywania styczości w wyniku działania siły dociskającej normalnej następuje formowanie pola mikropowierzchni styczości od wartości minimalnej w chwili zetknięcia aż do wartości maksymalnej wynikającej z wartości siły docisku i twardości materiału. Wskutek działania siły dociskającej na powierzchniach tworzących mikroestyk wystąpią odkształcenia sprężyste i plastyczne, a zatem zginięcie warstwy tlenków, warstwy półprzewodnikowej i izolacyjnej.

Po zakończeniu procesu nawiązywania styczości dla danych mikropowierzchni ustala się chwilowa rezystancja przejścia  $R_{p_{min}}$ , co umożliwia przepływ prądu  $I_{max}$  dla danego zestyku elementarnego.

Na wypadkowej rezystancji całego zestyku ustala się pewna wartość spadku napięcia  $\Delta U_k$  wprost proporcjonalna do wartości siły docisku. Jeżeli siła ta będzie duża, to wystąpi duża liczba mikropowierzchni styczości i praca elementarnych zestyków będzie się odbywać przy ustalonym i niemal stałym spadku napięcia  $\Delta U_k$  wymuszonym przez cały układ.

W sytuacji odwrotnej prąd będzie płynął przez małą liczbę mikropowierzchni styczości i niewielka zmiana parametrów wymusi zmianę wartości  $\Delta U_k$ .

Wytworzony na rezystancji styku wypadkowy spadek napięcia  $\Delta U_k$  wywołuje powstawanie w mikroszczelinach między nawiązującymi styczość mikropowierzchniami styczości pole elektryczne. Jeżeli wartość natężenia pola przekroczy wartość potencjału pracy wyjścia elektronów, to może mieć miejsce lokalne przebicie w postaci iskry elektrycznej. Może

również wystąpić zjawisko frittingu, w wyniku którego tworzy się mostek metaliczny lub metaliczne zetknięcie mikropowierzchni w obszarze odsłoniętego metalu.

Następna faza pracy zestyku, to rozchodzenie się mikropowierzchni styczności, wzrost rezystancji przejścia, powstawanie wyładowania iskrowego, dejonizacja mikrokanalu. Rezystancja przejścia wzrasta gwałtownie do stanu rozwarcia aż do kolejnego nawiązywania styczności na następnym mikrowystępie.

Z przedstawionego w sposób uproszczonego mechanizmu przepływu prądu przez elementarne rezystancje przejścia wynika, że pojawianie się iskry elektrycznej może mieć miejsce przy nawiązywaniu i przerywaniu styczności na każdym elementarnym zestyku.

Spadkowi napięcia  $\Delta U_k$  wymuszane na rezystancji zestyku towarzyszą szybkie zmiany prądu z występowaniem iskrzenia na elementarnych rezystancjach przejścia. Pojawienie się gwałtownych zmian prądu z występowaniem iskrzenia w obwodach RLC powoduje powstanie stanu nieustalonego w postaci drgań tłumionych. Im amplituda impulsów inicjujących jest większa i krótszy jest czas trwania, tym szersze jest widmo generowanych sygnałów. W literaturze dotyczącej tematyki zaburzeń radioelektrycznych podawana jest następująca przyczyna powstawania zaburzeń radioelektrycznych: „przyczyną generowania zaburzeń radioelektrycznych w obwodach elektrycznych są gwałtowne zmiany prądu z występowaniem iskrzenia”. Należy zaznaczyć, że fakt występowania iskrzenia świadczy o przerywaniu obwodu z występującym zestykiem, w którym wystąpiło stopienie i odparowanie materiału w zestyku przy przepływie prądu. Natomiast przyczyną generowania zaburzeń jest wyłącznie gwałtowna zmiana wartości prądu w tym obwodzie.

Losowy charakter rozkładu mikropowierzchni styczności powoduje, że wytwarzane przez zestyk ślizgowy zaburzenia radioelektryczne zaliczane są do quasiimpulsowych, ponieważ nakładają się na siebie ciągi poszczególnych oscylacji, tzn. jeszcze nie zakończył się poprzedni stan nieustalony, kiedy powstaje następny itp.

Zatem można powiedzieć, że wyeliminowanie zaburzeń radioelektrycznych powstających podczas pracy zestyku ślizgowego jest niemożliwe bez zastosowania zewnętrznych elementów tłumiących. Głównym czynnikiem decydującym o jakości pracy zestyku, a tym samym o poziomie generowanych zaburzeń jest siła docisku. W ruchomym zestyku ślizgowym, jakim jest styk odbiera-

ka prądu z przewodem jezdny decydujące znaczenie ma zatem siła dynamiczna.

W rzeczywistym zestyku ślizgowym, który składa się z dwóch przewodów jezdnych i ślizgacza zawierającego np. dwie nakładki stykowe występują następujące czynniki niebrane w rozważaniach pod uwagę:

- tarcie mechaniczne powodujące charakterystyczne efekty cieplne i mechaniczne,
- siła dynamiczna posiada wartość zmieniająca się wzdłuż drogi przelotu,
- w wyniku zmian siły dynamicznej może dojść do utraty styczności,
- sieć trakcyjna wykonuje drgania pobudzone przez odbierak prądu,
- obecnie eksploatowane nakładki stykowe ślizgacza są wykonane z grafitu domieszkowanego między innymi miedzią, co zwiększa rezystancję przejścia, a zatem straty elektryczne,
- stykające się mikropowierzchnie nie mają kształtu kulistego.

Wszystkie czynniki, które wpływają na zmniejszenie siły dynamicznej lub na jej chwilowe zmiany spowodują jednocześnie wzrost poziomu generowanych zaburzeń radioelektrycznych.

Poziom zaburzeń radioelektrycznych wywołany procesem komutacji stosunkowo mało zależy od mocy przenoszonej przez dane obwody elektryczne. Znacznie większe znaczenie ma sposób i rodzaj komutacji, jakość i rodzaj elementów biorących w niej udział oraz własności obwodów. Przeprowadzone pomiary poziomu zaburzeń radioelektrycznych wytwarzanych przez styk odbieraka prądu z przewodem jezdny w funkcji prądu pobieranego przez pojazd potwierdziły omawianą zależność.

#### 4. Oddziaływanie warstwy nalotowej w zestyku ślizgowym na poziom zaburzeń radioelektrycznych

Wartość rezystancji warstwy nalotowej  $R_n$  jest uzależniona od grubości i rodzaju warstwy która składa się z warstwy absorpcyjnej (przyleganie powierzchniowe) i warstwy korozyjnej (objętościowej) zawierającej związek miedzi z gazem otaczającym atmosferę. Sieć jezdna jest narażona na działanie wielu czynników podwyższających rezystancję przejścia przez zwiększanie grubości warstwy korozyjnej. Pyły pochodzące z hut, cementowni, siłowni ciepłych, zakładów chemicznych powodują powstawanie siarczków i węglików tworzących warstwę o dużej rezystywności na przewodach jezdnych.

Obecnie na PKP stosowane są ślizgacze grafitowe, które są kompozycją grafitu i miedzi z



dotatkami. Cechą tych ślizgaczy jest zwiększona rezystancja przejścia wynikająca ze zwiększonej rezystywności węgla w porównaniu z miedzią.

Zbadanie przez pomiary wpływu rezystancji warstwy nalotowej na poziom zaburzeń radioelektrycznych jest przedsięwzięciem trudnym i pracochłonnym, ponieważ warstwy nalotowe ulegają ścieraniu w czasie jazdy, a ich naturalna odbudowa wymaga kilku godzinnych przerw w eksploatacji lokomotyw.

Innym czynnikiem wymagającym omówienia jest wpływ opadów atmosferycznych na poziom zaburzeń radioelektrycznych. Woda z mgły, rosy i deszczu zmniejsza tarcie zwiększając jednocześnie rezystancje przejścia. Norma określająca metodykę pomiaru zaburzeń radioelektrycznych pochodzących od taboru kolejowego zaleca jej wykonywanie przy suchej i ustalonej pogodzie (po 24h, w czasie których nie spadło więcej niż 0,1mm deszczu). Pomiary wpływu opadów atmosferycznych na poziom zaburzeń radioelektrycznych wykonano metodą wagonową w paśmie od 0,15 do 3MHz oraz dla częstotliwości 150 MHz. W trakcie pomiarów stwierdzono nieznaczny i wynoszący około 2,5 dB wzrost poziomu zaburzeń spowodowany deszczem.

### 5. Wpływ łuku elektrycznego na poziom generowanych zaburzeń radioelektrycznych

Podczas dynamicznej współpracy odbieraka prądu z siecią trakcyjną występują przypadki utraty styczności nakładek stykowych z przewodem jezdny i prąd przepływa przez palący się łuk elektryczny.

Na temat zjawisk związanych z łukiem elektrycznym jest dużo opracowań, natomiast wytwarzanie zaburzeń radioelektrycznych wskutek pojawiania się łuku jest traktowane marginesowo. Wynika to z faktu, że jest to zjawisko przejściowe i wszystkie stosowane środki zmierzają do jego eliminacji.

Przyczyną powstawania zaburzeń radioelektrycznych podczas zapalania się łuku są zjawiska zachodzące w plazmie. W zakresie częstotliwości, dla których wykonuje się pomiary można pominąć oddziaływanie ujemnej charakterystyki rezystancji łuku na obwody RLC. Wytworzone w wyniku od tłumiania obwodów LC drgania elektryczne sięgają niezbyt wysokich częstotliwości / kilkadziesiąt kHz /.

Ze względu na niebezpieczeństwo uszkodzenia sieci trakcyjnej nie przeprowadzono badań zaburzeń radioelektrycznych podczas palenia się łuku. Ograniczono się do pomiaru zaburzeń podczas zapalania się łuku w momencie

opuszczania odbieraka przy niewielkim poborze prądu i prędkości 60km/h.

Uzyskana w ten sposób charakterystyka natężenia pola zaburzeń radioelektrycznych w funkcji częstotliwości przebiega średnio 15dB powyżej wartości przeciętnej dla danego typu pojazdu.

Podsumowując można stwierdzić, że w warunkach eksploatacji, w miejscach gdzie może mieć miejsce oderwanie się ślizgacza od przewodu jezdny (źle wyregulowane rozjazdy sieciowe, oblodzenie przewodów jezdnych) należy się wtedy liczyć ze znacznym wzrostem poziomu zaburzeń radioelektrycznych.

Podczas inicjacji łuku elektrycznego mogą wystąpić krótkotrwałe przerwy w przepływie prądu elektrycznego z sieci trakcyjnej do pojazdu. Każdorazowe krótkotrwałe połączenie lub przerywanie obwodu powoduje wyzwolenie energii zgromadzonej w polu elektrycznym i magnetycznym w elementach L i C obwodu. Powstaje wtedy stan nieustalony w obwodzie elektrycznym o charakterze oscylacyjnym lub periodycznym. O parametrach generowanych przebiegów decydują elementy obwodu (RLC). Przebiegowi oscylacyjnemu i periodycznemu towarzyszą znaczne amplitudy napięcia, zwane przepięciami. Amplituda przepięć generowana podczas przerywania obwodu z indukcyjnością określona jest wzorem (2):

$$U_m = I_0 \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (2)$$

Amplituda napięcia na zestykach może wzrosnąć nawet kilkadziesiąt razy w stosunku do wartości siły elektromotorycznej obwodu. Wartość amplitudy powstającego przepięcia zależy przede wszystkim od wartości prądu w obwodzie i wartości indukcyjności w przerywanym obwodzie. Zgromadzona w indukcyjności przerywanego obwodu energia rozładowuje się w formie oscylacji gasnących.

### REFERENCES

1. Miłkowska M., *Zestyki elektryczne w telekomunikacji*, WNT, Warszawa, 1970.
2. Charoy, *Zakłócenia w urządzeniach elektronicznych. Zasady i porady instalacyjne, Tom I. Źródła, sprzężenia, skutki*, WNT, Warszawa, 1999.
3. Ruszel P., *Półprzewodnikowe przyrządy przełączające źródłem szerokopasmowych zakłóceń elektromagnetycznych*, Pomiary, Automatyka i Kontrola, Nr 2, 1997.
4. Ochocki B., B. Szydłowski, *Technika przekaźnikowa – podstawowe informacje techniczne. Część III, Napędy i Sterowanie*, Relpol, Nr 12, str. 30-31, 2009.

5. Wyderka S., *Ograniczanie przepięć Odebrane do publikacji 05.04.2013. łączeniowych w układach sterowania zawierających elementy indukcyjne*, Elektro.Info, Nr 5, 2007.

Prof. V. I. Gavriluk, D. Sc. (Ph&Math) recommended this article to be published.

Typowym przykładem ruchomego zestyku ślizgowego typu nierozłącznego jest współpraca nakładek ślizgacza z przewodem jezdnym w pantografowym odbieraku prądu. Wzajemne współdziałanie stykających się powierzchni odbywa się przy udziale tarcia zewnętrznego w wyniku istnienia siły dociskającej normalnej oraz siły stycznej powodującej przemieszczanie się powierzchni względem siebie.

Poziom zaburzeń radioelektrycznych wywołany procesem komutacji stosunkowo mało zależy od mocy przenoszonej przez dane obwody elektryczne. Znacznie większe znaczenie ma sposób i rodzaj komutacji, jakość i rodzaj elementów biorących w niej udział oraz własności obwodów. Przeprowadzone pomiary poziomu zaburzeń radioelektrycznych wytwarzanych przez styk odbieraka prądu z przewodem jezdym w funkcji prądu po-bieranego przez pojazd potwierdziły omawianą zależność.

Podczas dynamicznej współpracy odbieraka prądu z siecią trakcyjną występują przypadki utraty styczności nakładek stykowych z przewodem jezdym i prąd przepływa przez palący się łuk elektryczny.

Na temat zjawisk związanych z łukiem elektrycznym jest dużo opracowań, natomiast wytwarzanie zaburzeń radioelektrycznych wskutek pojawiania się łuku jest traktowane marginesowo. Wynika to z faktu, że jest to zjawisko przejściowe i wszystkie stosowane środki zmierzają do jego eliminacji.

Artykuł opisuje problemy związane z generacją zaburzeń radioelektrycznych na styku odbierak prądu trakcyjnego (pantograf) – sieć trakcyjna. Omówiono główne warunki powstawania tego typu zaburzeń, jak również podstawowe czynniki mające wpływ na poziom tych zaburzeń. Opisano wpływ warstw nalotowych i łuku elektrycznego na poziom zaburzeń radioelektrycznych. Przytoczono dane z badań przeprowadzonych w warunkach rzeczywistych.

**Słowa kluczowe:** zaburzenia radioelektryczne, sieć trakcyjna, odbierak prądu, pojazdy trakcyjne.

## УДК 621.331.3

A. БЯЛОНЬ (ІНСТИТУТ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ),

A. ДЛУЖНЕВСЬКИЙ (СІЛЕЗЬКА ПОЛІТЕХНІКА),

A. КАЗИМІРЧАК, M. ЛАСКОВСЬКИЙ (ІНСТИТУТ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ)

Інститут залізничного транспорту, 04-275 Варшава, вул. Хлопціцького 50, тел.: +48 22 4731453, факс: +48 22 4731036, ел. пошта: [abialon@ikolej.pl](mailto:abialon@ikolej.pl), [adluzniewski@ikolej.pl](mailto:adluzniewski@ikolej.pl), [akazimierczak@ikolej.pl](mailto:akazimierczak@ikolej.pl), [mlaskowski@ikolej.pl](mailto:mlaskowski@ikolej.pl)

Сілезька Політехніка, Кафедра транспорту, Сектор автоматики на транспорті, вул. Красінського 8, 40-019 Катовіце, тел.: +48326034136, ел. пошта: [andrzej.bialon@polsl.pl](mailto:andrzej.bialon@polsl.pl)

## ГЕНЕРАЦІЯ РАДІОЗАВАД НА СТИКУ ПАНТОГРАФ – КОНТАКТНИЙ ПРОВІД

Типовим прикладом рухомого контакту є контакт контактного провoda з пантографом при русі рухомого складу. Взаємодія контактуючих поверхонь опосередкована через тертя існуванням зовнішнього зусилля затиску нормальної і тангенціальної сили, що викликає рух поверхонь відносно один одного.

Рівень радіоперешкод, що викликані процесом комутації порівняно слабо залежить від потужності, що передана від електричних схем. Набагато важливішим є спосіб і тип комутації, якість і тип компонентів, що беруть участь у ньому і властивостей схем. Вимірювання рівня характеристик радіозавад рухомого контакту пантографа з контактним проводом в функції струму в залежності від типу рухомого складу підтвердив вказані залежності.

Підчас динамічної взаємодії пантографа з тяговою мережею бувають випадки втрати контакту пластин струмоприймача з контактним проводом і струм протікає через електричну дугу.

Багато досліджень було проведено на тему виникнення радіоперешкод через появу дуги. Багато авторів вважає вплив дуги на появу радіоперешкод незначним. Це пов'язано з тим, що виникнення дуги - це тимчасове явище, і всі заходи, спрямовані на її усунення.

Ця стаття описує проблеми, пов'язані з генерацією радіоперешкод на стику пластин струмоприймача (пантографа) та контактної мережі. Обговорюються основні умови виникнення цього типу перешкод, а також основні чинники, що впливають на їх рівень. Автори статті описують вплив електричної дуги, наплавлень на рівень радіоперешкод. Наведені результати досліджень, що виконані в реальних умовах.

**Ключові слова:** завади радіоелектричні, тягова мережа, струмоприймач, електричний рухомий склад.

Статтю рекомендовано до друку д.ф.-м.н., професором В. І. Гаврилюком

**УДК 621.331.3**

А. БЯЛОНЬ (ИНСТИТУТ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА),  
 А. ДЛУЖНЕВСКИЙ (СИЛЕЗСКАЯ ПОЛИТЕХНИКА),  
 А. КАЗИМИРЧАК, М. ЛАСКОВСКИЙ (ИНСТИТУТ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО  
 ТРАНСПОРТА)

Институт железнодорожного транспорта, 04-275 Варшава, ул. Хлопицкого 50, тел.: +48 22 4731453,  
 факс: +48 22 4731036, e-mail: [abialon@ikolej.pl](mailto:abialon@ikolej.pl), [adluzniewski@ikolej.pl](mailto:adluzniewski@ikolej.pl), [akazimierzczak@ikolej.pl](mailto:akazimierzczak@ikolej.pl),  
[młaskowski@ikolej.pl](mailto:młaskowski@ikolej.pl)

Силезская Политехника, Кафедра транспорта, Сектор автоматики на транспорте, ул. Красинского 8,  
 40-019 Катовице, тел.: +48326034136, эл.почта: [andrzej.bialon@polsl.pl](mailto:andrzej.bialon@polsl.pl)

## **ГЕНЕРАЦИЯ РАДИОПОМЕХ НА СТЫКЕ ПАНТОГРАФ – КОНТАКТНЫЙ ПРОВОД**

Типичным примером подвижного контакта является контакт контактного провода с пантографом при движении подвижного состава. Взаимодействие контактирующих поверхностей опосредованного через трение существованием внешнего усилия нормальной и тангенциальной силы, вызывающей движение поверхностей относительно друг друга.

Уровень радиопомех, вызванных процессом коммутации сравнительно слабо зависит от мощности, переданной от электрических схем. Гораздо существенным является способ и тип коммутации, качество и тип компонентов, участвующих в нем и свойства схем. Измерения уровней радиопомех подвижного контакта пантографа с контактным проводом в функции тока на разных типах подвижного состава подтвердил указанные зависимости.

При динамическом взаимодействии пантографа с тяговой сетью бывают случаи потери контакта пластин токоприемника с контактным проводом и ток протекает через электрическую дугу.

Много исследований было проведено на тему возникновения радиопомех из-за появления дуги. Многие авторы считают влияние дуги на появление радиопомех незначительным. Это связано с тем, что возникновение дуги - это временное явление, и все мероприятия, направлены её на устранение.

Эта статья описывает проблемы, связанные с генерацией радиопомех на стыке пластин токоприемника (пантографа) и контактной сети. Обсуждаются основные условия возникновения этого типа помех, а также основные факторы, влияющие на их уровень. Авторы статьи описывают влияние дуги электрической, наплавки на уровень радиопомех. Приведены результаты исследований, выполненных в реальных условиях.

**Ключевые слова:** радиопомехи, тяговая сеть, токоприёмник, электроподвижной состав.

Статью рекомендовано к печати д.ф.-м.н, профессором *В. И. Гаврилюком*