

Zbigniew FIDRYCH

Zbigniew ŻUREK

Instytut Transportu Kolejowego
Politechniki Śląskiej

BADANIA ROZPLYWU PRĄDU W ŁAŃCUCHOWEJ SIĘCI TRAKCYJNEJ

Streszczenie. W artykule omówiono zagadnienia wpływu sposobu łączenia linki nośnej z drutem jezdny na nierównomierność rozprzyszczenia prądu w sieci trakcyjnej.

Dotychczas stosowane wieszakowanie sieci powoduje ograniczony przepływ prądu w lince w miejscu odbioru co powoduje lokalne nagrzewania się drutów jezdnych.

Proponowana w artykule metoda pomiaru skuteczności połączeń linka-drut wykonanych tradycyjnie przez wieszakowanie i proponowane stosowanie połączeń elektrycznych pozwala wprowadzić zmiany w dotychczasowych metodach projektowania sieci pod kątem obciążalności termicznej.

1. Wprowadzenie

Sieć trakcyjna, stanowiąc jeden z wariantów sieci energetycznych, szeroko stosowanych w przesyłaniu energii elektrycznej, różni się zasadniczo od nich pod względem funkcjonalnym. Różnica ta wynika ze sposobu dostarczania energii od źródła, jakim jest podstacja trakcyjna, do odbiorników trakcyjnych, które przemieszczają się wzdłuż sieci trakcyjnej w różnych odstępach czasu ze zmienną wielkością pobieranego prądu.

Realizacja odbioru energii odbywa się za pomocą zestyku ślizgowego, co powoduje, że sieć trakcyjna oprócz funkcji przesyłowych spełnia również wspólnie z odbierakiem funkcję ślizgowego łącznika. Wymaga to znacznej odmienności w jej konstrukcji w stosunku do linii przesyłowych.

Spełnienie podstawowego warunku, jakim jest zagwarantowanie zadowalającego odbioru prądu w zestyku ślizgowym, wymaga znacznego usztywnienia sieci, tak w płaszczyźnie pionowej, jak i poziomej, co uzyskuje się przez konstruowanie sieci w układzie przestrzennym.

Na przestrzeni rozwoju trakcji elektrycznej, systematyczna modernizacja sieci odgrywa szczególną rolę. Dążenie do coraz większych prędkości jazdy pociąga za sobą zwiększenie obciążalności sieci i stosowanie ciężkich typów sieci. Natomiast warunki ekonomiczne zmuszają nas do budowy sieci możliwie lekkich.

Wszystkie te czynniki zmierzają do projektowania sieci z przeznaczeniem na duże obciążenia i odpornej na odkształcenia wymuszone przez przemieszczający się odbierak wywierający siłę w kontakcie stykowym.

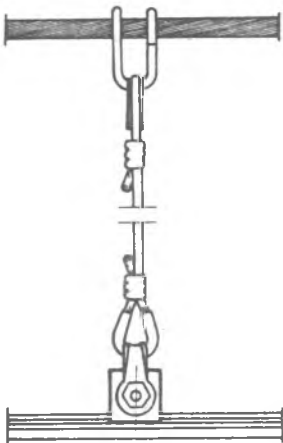
Konstrukcja sieci trakcyjnych, gwarantująca spełnienie wszystkich stawianych jej warunków, przyjęła formę przestrzenną tzw. łańcuchową, składającą się z liny nośnej (niekiedy dwóch i więcej) i powieszonych do niej za pomocą wieszaków drutów jezdnych. Uzyskanie w otrzymanej konfiguracji należytego rozplywu prądu obciążającego proporcjonalnie zastosowane przekroje w linie nośnej i drutach jezdnych było przedmiotem badań przeprowadzonych w Instytucie Transportu Kolejowego.

Dokonano analizy rozplywu prądu dla sieci istniejących i rozpatrzono sposoby zaradcze mające na celu bardziej aktywne włączenie liny nośnej w proces przewodzenia, zmniejszając tym samym miejscowe obciążenia występujące w drutach jezdnych, wpływające na wzrost ich temperatury niekorzystnie oddziałującej na sprawność i trwałość sieci.

2. Wieszakowanie sieci trakcyjnej

W celu zachowania poziomego usytuowania drutu jezdnego w stosunku do toru kolejowego dokonuje się korekcji zwisu liny nośnej za pomocą wieszakowania, średnio co 8 metrów dla jednego drutu jezdnego bez względu na stosowany typ sieci.

Redzaj wieszakowania stosowany na PKP w większości sieci trakcyjnych ilustruje rys. 1.



Rys. 1. Konstrukcja wieszaka pojedynczego

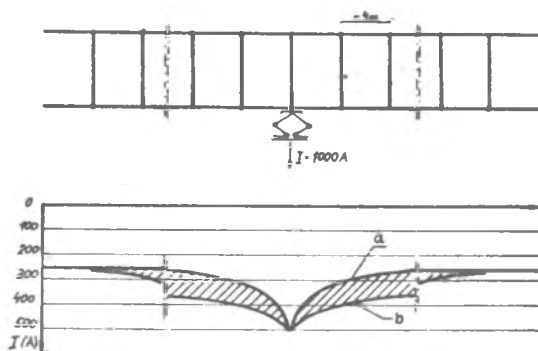
Niezależnie od nadania temu połączeniu funkcji czyto mechanicznej zakłada się przez zastosowanie wieszaka wykonanego z linki miedzianej o przekroju 10 mm^2 pełnienie funkcji połączenia elektrycznego pomiędzy linką nośną i drutem jezdnym. Uwzględniając jednak możliwość niejednoczesnego przemieszczania się drutu jezdnego w stosunku do liny nośnej na skutek drgań sieci, przypadek obciążenia wieszaka, jak również zanieczyszczenia styku oczkowego spowodowanego agresywnością atmosfery - funkcja połączenia elektrycznego obciążona jest dużą opornością sieci w bezpośrednim sąsiedztwie pojazdu trakcyjnego pobierającego prąd z sieci.

Powyższe nie dotyczy najnowszej konstrukcji sieci oznaczonej symbolem 2C120-2C, w której zastosowano wieszaki bocznikujące elementy oczkowe przez lutowanie końcówek wieszaka do elementów zwieranych przez wieszaki. Biorąc jednak pod uwagę, że sieć ta stanowi znikomy procent w stosunku do sieci istniejących i w dalszym ciągu budowanych, zagadnienie zmniejszenia rezystencji sieci w strefie odbioru prądu przez zmniejszenie oporności pomiędzy linką nośną i drutem jezdny - jest nadzwyczaj aktualne.

3. Analiza rozptywu prądu w łańcuchowej sieci trakcyjnej

Prąd z podstacji do odbiornika płynie linką nośną i drutem jezdny. W pobliżu zestyku ślizgowego prąd w linie maleje, spływa wieszakami do drutu jezdny w stopniu zależnym od stanu przewodności wieszaków, aby w miejscu zestyku z odbierakiem osiągnąć wartość maksymalną.

W przypadku niskiej przewodności wieszaków występuje znaczne zróżnicowanie w rozptywie prądu w miejscach oddalonych od zestyku ślizgowego, co przyczynia się do występowania dodatkowych strat ciepłych. Wielkość oraz zasięg oddziaływania tych strat dla skrajnych przypadków przewodności wieszakowania ilustruje obszar zakreskowany na rys. 2.



Rys.2. Straty ciepłe powodowane nierównomiernością rozptywu prądu:

- a - dobra przewodność wieszakowania
- b - niedostateczna przewodność wieszakowania

Problemiowi rozptywu prądu między linką nośną, a drutem jezdny literatura krajowa poświęca zbyt mało uwagi ze względu na brak możliwości rozwiązania tego zagadnienia w warunkach poligonowych.

Posługując się metodami fizycznymi liczenia prądów w obwodach oczkowych, napotkać można na trudności związane ze znaczną ilością operacji obliczeniowych, tym bardziej jeżeli uwzględni się zmiany

rezystencji wieszakowania.

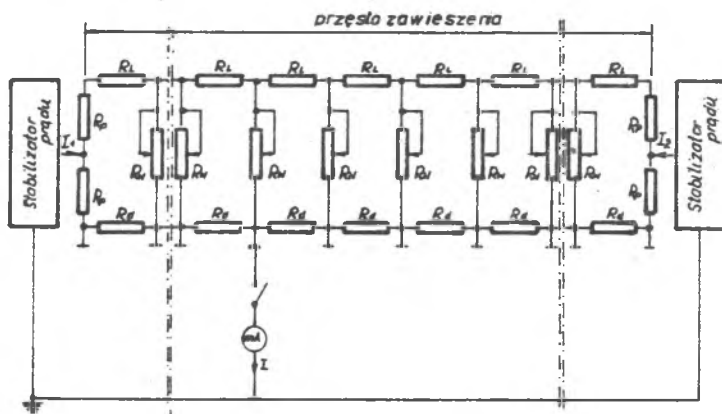
Wobec powyżej przedstawionych trudności opracowano specjalny układ pomiarowy umożliwiający badania rozptyłu prądu dla wszystkich stosowanych na PKP typów sieci trakcyjnej.

Zastosowana metoda pomiarowa polega na przeprowadzeniu pomiarów spadków napięć na modelu fizycznym sieci, w którym poszczególne wieszaki przelotu, jak i odcinki lin nośnych i drutów jezdných zastąpiono rezystorami o proporcjonalnie powiększonych w stosunku $10^5 : 1$ wartościach.

Duża rezystencja elementów modelu była konieczna ze względu na zasilanie modelu małymi prądami.

Licząc się z dużymi zmianami rezystencji wieszakowania, wykonano szereg pomiarów dla różnych stanów powierzchni styku oczkowego, uzyskując zakres zmian oporności w granicach od 0,5 do 100 mΩ. Znając te wartości, można było przystąpić do badania rozptyłu prądu w elementach sieci trakcyjnej, korzystając z modelu przedstawionego na rys.3.

Na przedstawionym schemacie model jest zasilany dwustronnie prądem stabilizowanym. Powoduje to nieco odmienne zjawiska od tych, jakie występują w sieci rzeczywistej zasilanej napięciem, jednak przyjęte założenie przyczynia się do znacznego uproszczenia modelu.

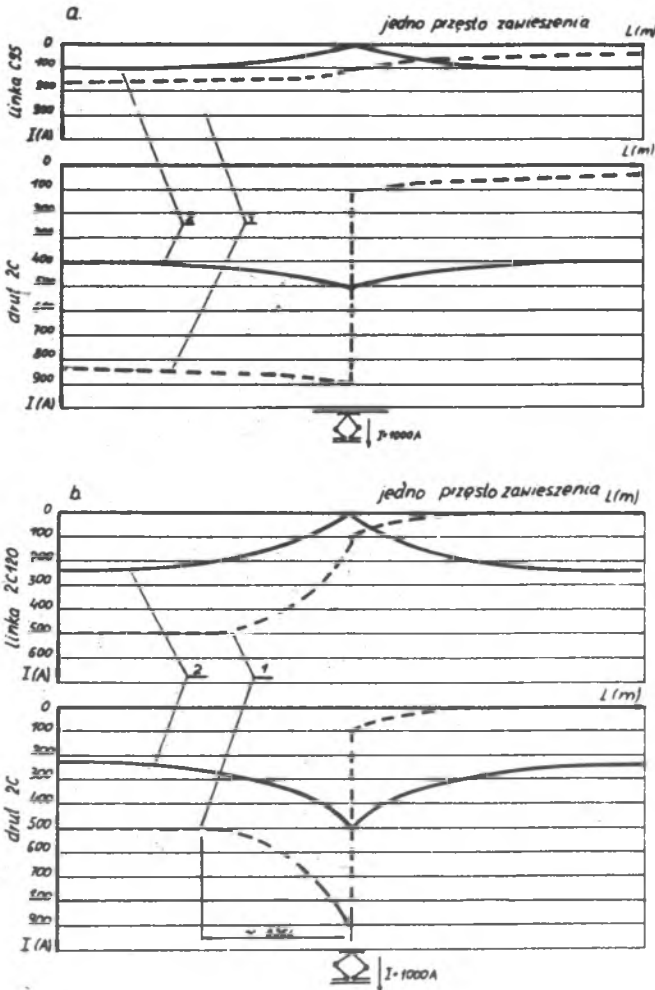


Rys.3. Schemat modelu do wyznaczania zmian rozptyłu prądu w funkcji R_w .

Uproszczenie to jest przyczyną niewielkiego błędu wynikającego z założenia, że wielkość pobieranego prądu nie jest zależna od rezystencji sieci. W rzeczywistości spadek napięcia na przelocie wywołany przepływem prądu dochodzi do kilkunastu wolt, co w stosunku do napięcia

zasilania stanowi ułamek procentu.

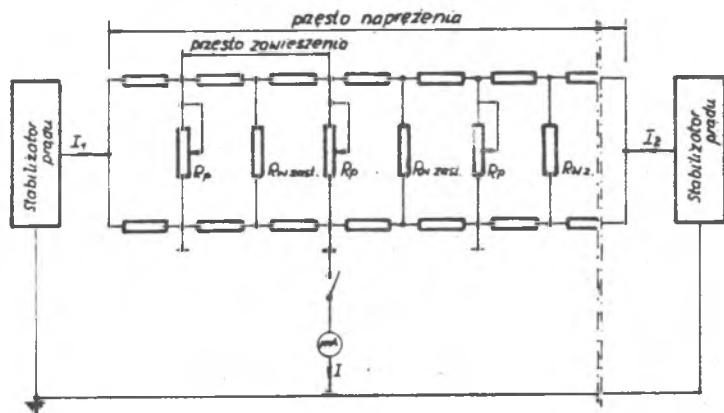
Uwzględniając w układzie modelowym średnią wielkość rezystencji $R_w = 100 \text{ m}\Omega$, przeprowadzono pomiary rozptywu prądu dla dwóch powszechnie stosowanych typów sieci trakcyjnej. Otrzymane wyniki przedstawiono na rys. 4, na którym wyraźnie zauważyć można typ sieci, w którym wieszaki spełniają tylko funkcję podtrzymywania drutu jezdnego (rys. 4a) oraz sieć, w której wieszaki oprócz podtrzymania drutów zapewniają przepływ prądu (rys. 4b).



Rys.4. Wykresy rozptywu prądu na długości jednego przelotu w sieciach trakcyjnych zasilanych: jednostornnie - 1, dwustronnie - 2.
 a - sieć trakcyjna C95-2C b - sieć trakcyjna 2C120-2C

W przypadku sieci trakcyjnej 20120 - 2C nierównomierność rozprawy prądu w stosunku do przyjętych przekrojów w linie i drucie ulega wyrównaniu w odległości 1/4 przelotu w obydwie strony od odbieraka. Natomiast w sieci starszego typu G95 - 2C nierównomierność występuje na całej długości badanego przelotu i wyrównanie następuje dopiero na odległości 2 - 3ppzelotu.

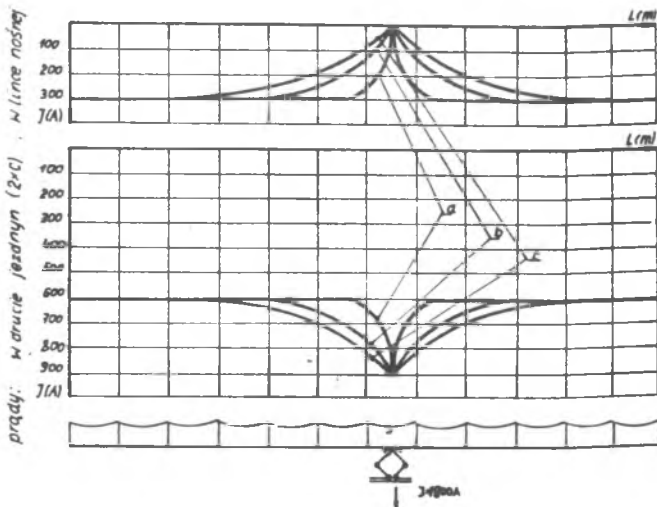
Przedstawione na rys.4 rozprawy prądu w sieci trakcyjnej wynikają z przyjętego założenia, że konstrukcja wysięgu zapewnia dobry przepływ prądu pomiędzy linką nośną i drutem jezdnym, przyjęto średnią wielkość $10 \text{ m}\Omega$. W warunkach rzeczywistych rezystencja przejścia wspomnianych elementów przewodzących prąd przyjmuje wielkości w granicach od 10 do $500 \text{ m}\Omega$, przy czym około 90% badanych próbek wykazało rezystencję bliską górnej granicy. W celu uzyskania wykresów opisujących sieć w warunkach najbardziej zbliżonych do rzeczywistych przeprowadzono dalsze badania modelowe sieci na układzie przedstawionym na rys. 5, obejmującym prześło naprężenia, przy zmieniającej się rezystencji elementów wysięgu dla przyjętych stałych rezystencji wieszakowania R_w jak w badaniach układu przedstawionego na rys.3.



Rys.5. Schemat modelu do wyznaczania zmian rozprawy prądu w funkcji R_w i R_p .

Ponieważ przeprowadzenie badań dla całego szeregu zmian rezystencji elementów przewodzących wysięgu R_p nie było konieczne, przyjęto jako charakterystyczne tylko trzy przypadki: rezystencji $10 \text{ m}\Omega$ w miejscu wysięgu, rezystencji zbliżonej do połączenia wieszakowego i braku przewodności $R_p = \infty$. Uzyskane w ten sposób zakresy zmian rozprawy prądu pomiędzy

linką nośną a drutem jezdnym przedstawione zostały na rys. 6.



Rys. 6. Wykres zasięgu oddziaływania zmian rozptywu prądu w sieci C95-2C

- a - $R_p = 0$
 b - $R_p = R_w$
 c - $R_p = +\infty$

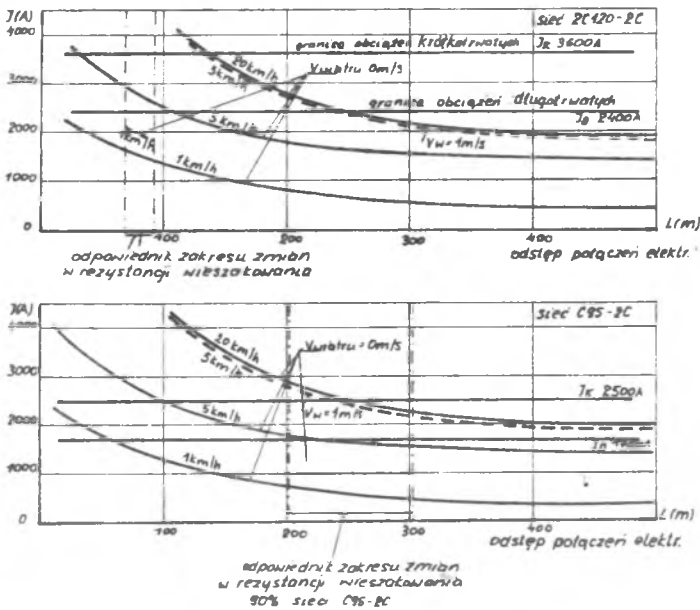
Mała przewodność konstrukcji wysięgu lub jej brak powoduje przezwyciężenie się nierównomierności rozptywu prądu w sieciach C95-2C, jak i innych nie wymienionych w artykule, na odległość do sześciu i więcej przelotów. Jedynie w sieci 2C120-2C bez względu na wartość rezystancji R_p zasięg zmian rozptywu prądu nie przekracza jednego przelotu, co uzyskuje się przez spełnienie wieszakowaniem funkcji zadowalającego połączenia elektrycznego.

Procentowe określenie zmian rozptywu prądu można uzyskać z wykresów przedstawionych na rys. 6. W drucie jezdnych sieci C95-2C średnie przyrosty prądu wahają się w granicach do 35% na długości sześciu przelotów. W sieciach trakcyjnych lżejszego typu zmiany te mogą dochodzić do 45%. Znaczne miejscowe przyrosty prądu w drucie jezdnych są przyczyną przegrzewania drutów jezdnych i obniżenia sprawności sieci. Ma to miejsce szczególnie przy małych prędkościach jazdy i w momencie rozruchu pociągu.

Wyznaczenie zmian obciążalności termicznej sieci w funkcji R_w poprzedzone zostanie wyjaśnieniem sposobu rozwiązania tego zagadnienia w przypadku sieci stosowanych przez zarządy kolejowe ZSR i CSRS. W sieci tych wieszakowanie nie bierze udziału w przepływie prądu.

Rozpływ prądu zapewniają dodatkowe połączenia elektryczne linki i drutu jezdnego. Rozmieszczenie połączeń jest uzależnione od mocy pobieranej z sieci przez jedną lokomotywę. Pomiędzy połączeniami elektrycznymi prąd płynie do odbieraka prądu jedynie drutem jezdnym, skracając tym samym zasięg oddziaływania zwiększonego prądu. Znając charakterystyki termiczne drutu jezdnego, wyznaczając temperaturę drutu po określonym czasie przepływu prądu i prędkość jazdy, obliczyć można dopuszczalne przyrosty temperatury drutu.

Ujęcie tych zależności na wykresie daje zbiór krzywych przedstawionych na rys.7, uzależniających dopuszczalną wielkość prądu dla różnych odstępów dodatkowych połączeń elektrycznych i prędkości jazdy dla sieci stosowanych na PKP. Linie poziome naniesione na wykresach określają graniczne wartości prądu dla obciążeń krótkotrwałych i długotrwałych, czyli takich, które nie powodują przekroczenia temperatury dopuszczalnej dla drutu jezdnego.



Rys.7. Wykres zależności poboru pobieranego z sieci funkcji odległości pomiędzy dodatkowymi połączeniami elektrycznymi.

Wykres przedstawiony na rys. 7 sporządzony został dla teoretycznego założenia, że połączenia elektryczne pomiędzy linką nośną i drutami jezdnyymi są scentralizowane i montowane w odległościach od 50 do 500 m. Przykładowo dla sieci C95-2C, przy odległości pomiędzy połączeniami scentralizowanymi wynoszącej 300 m, maksymalny pobór prądu ze względów temperaturowych dla prędkości 1 km/h nie może przekraczać 500 A. Sytuacja ulega znacznej zmianie w przypadku zastosowania odległości pomiędzy połączeniami 100 m, wówczas prąd może być zwiększony do wielkości 1300 A. Obecnie stosowane wieszakowanie w odniesieniu do połączeń scentralizowanych umiejscawia eksploatowaną sieć w przedziale 200 - 300 m pomiędzy połączeniami. W przypadku sieci 2C120-2C wpływ wieszakowania jest równoważny ze stosowaniem połączeń elektrycznych na każdym przelocie.

4. Podsumowanie

Przytoczone w artykule informacje pozwalają na przewizję dotychczasowych metod projektowania sieci jezdnej w zakresie obliczeń elektrycznych. Wyznaczone wielkości nierównomierności rozptywu prądu oraz analiza ich powstawania pozwalają wyjaśnić przyczyny niektórych przepaleń lub zerwań drutów jezdnych. Zależności ujęte w wykresach 6 i 7 dają wytyczne do sposobu wzmocnienia sieci przez zastosowanie dodatkowych połączeń elektrycznych w bardzo wrażliwych jej punktach, do których należą tory stacyjne, wzniesienia i odcinki, na których odbywa się rozruch pociągu.

Recenzent:

Doc. dr hab. inż. Przemysław Pazdro

STUDY OF CURRENT PROPAGATION IN A CHAIN CONTACT SYSTEM

Summary

The article discusses the influence of way of linking the catenary wire with the trolley wire on the irregularity of current propagation in a contact system. Hitherto used overhead droppers limit the flow of current in the catenary wire at the point of contact which causes local heating of the trolley wires. The proposed method, in the article, of measuring the effectiveness of links catenary-trolley wires with overhead droppers and proposed electric joints permits the introduction of changes in the hitherto used developing methods of contact systems, taking into account the thermal loads.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОКОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ В ЦЕННОЙ КОНТАКТНОЙ ПОДВЕСКЕ

Резюме

В статье обговорено влияние способа соединения несущего троса с контактным проводом на неравномерное токораспределение в контактной подвеске.

В настоящее время применяемые струны ограничено влияют на величину тока в несущем тросе в зоне пантографа, в следствии чего возникает локальный перегрев контактных проводов.

Предложена в статье метода измерения эффективности соединения "трос-провод" изготовленных из струн и предложенных в виде электросоединения, разрешает ввести новый подход в методах проектирования контактной сети с точки зрения термической нагрузки.