

Zbigniew FIDRYCH

Instytut Transportu i Komunikacji  
Politechniki Śląskiej

#### SPOSOBY OKREŚLENIA MASY ZASTĘPCZEJ SIECI TRAKCYJNEJ

Streszczenie. W teoretycznych badaniach w dziedzinie współpracy dynamicznej odbieraka prądu z siecią trakcyjną, sprowadzających się do badania systemu drgającego, najważniejszym parametrem jest masa sieci. W przyjętym systemie masa sieci odbiega od pojęć stosowanych w fizyce, charakteryzuje się nieskończoną długością w stosunku do masy współpracującego z nią odbieraka, w konsekwencji czego wprowadzono pojęcie masy zastępczej, sprowadzając system do postaci klasycznej. W pracy omówione zostały bardzo zróżnicowane wyniki zagranicznych badań oraz rezultaty eksperymentalnych doświadczeń przeprowadzonych na PKP nad masą zastępczą.

Na przestrzeni ostatnich lat w badaniach prowadzonych nad współpracą odbieraka prądu z kolejową siecią trakcyjną duże zainteresowanie wśród specjalistów z tej dziedziny skierowane zostało ponownie na rozwiązywanie tego zagadnienia przy pomocy metod teoretycznych. Do tego okresu podejście teoretyczne w badaniach dynamicznej współpracy dwóch tak złożonych systemów napotykało na szereg trudności przede wszystkim w rozwiązywaniu zbyt skomplikowanych równań różniczkowych. W celu sprowadzenia tych równań do postaci ułatwiających ich rozwiązanie posługiwano się szeregiem uproszczeń, w konsekwencji czego otrzymywane rezultaty charakteryzowały się bardzo niską dokładnością.

Ponadto dodać należy, że nie wszystkie rezultaty teoretycznych rozważań były porównywane z danymi otrzymywanymi z badań prowadzonych w naturalnych warunkach liniowych, w związku z czym nie mogły być przyjęte za wiarygodne.

W chwili obecnej rozwiązywanie, zarówno złożonych systemów równań (przyjmujących postać normalnych, nieliniowych i niejednorodnych równań różniczkowych ze zmiennymi współczynnikami), jak również dokonywanie zapisu trajektorii przemieszczania się punktu kontaktu odbieraka z siecią podczas badań liniowych prowadzonych przy różnych prędkościach jazdy, nie stanowi dużych trudności, co głównie przyczyniło się do powrotu do metod uprzednio stosowanych.

Metody teoretyczne cechuje znaczna przewaga nad pozostałymi metodami

(eksperymentalnymi i modelowania) w dziedzinie badania zjawisk zachodzących przy współpracy elektrodynamicznej w systemie odbierak-sieć trakcyjną głównie dlatego, ponieważ metoda ta umożliwia dokonanie wnikliwego badania zachowania się poszczególnych parametrów systemu, co pozwala ustalić ich wpływ na jakość współpracy.

Wykorzystanie otrzymanych informacji jest szczególnie cenne przy projektowaniu nowych rozwiązań konstrukcyjnych sieci i niezwykle aktualne w związku z tendencjami wzrostu prędkości na liniach zelektryfikowanych, jak również zwiększenia niezawodności urządzeń sieci i odbieraków prądu. Dodatkową korzyścią uzyskiwaną z tego typu badań jest możliwość uzyskiwania (przez odpowiedni dobór parametrów) stabilizacji w optymalnym zakresie siły nacisku w kontakcie, co odgrywa bardzo ważną rolę w oszczędności między stosowanej w przewodzącym kontakcie ślizgowym, i tym samym wydłużenie okresu żywotności rozpatrywanych systemów. Jest to najistotniejsze zagadnienie w procesie eksploatacji zelektryfikowanych linii kolejowych. W przeciwieństwie do metod teoretycznych, metody eksperymentalne pozwalają określić jakość współpracy jedynie dla urządzeń elektrotrakcyjnych sieciowych już istniejących, co niewątpliwie sprowadza badania do ograniczonej ilości wariantów, a w przypadku rozszerzenia zakresu badań powoduje nadmierny wzrost kosztów.

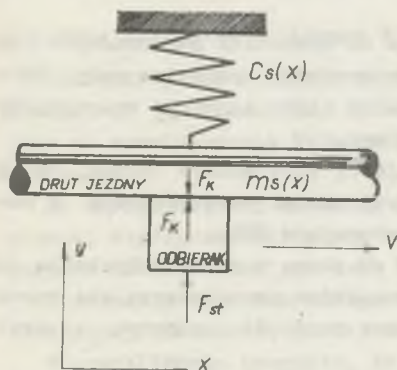
Dlatego też wprowadzenie równań, a następnie opracowanie programu dla obliczeń z zastosowaniem ETO, którego słuszność została uprzednio potwierdzona w wąskim zakresie przeprowadzonymi badaniami w warunkach naturalnych, stanowi najbardziej efektywne podejście do omawianego zagadnienia.

Złożoność zjawisk występujących podczas szybkiego przemieszczania się odbieraka prądu wzdłuż zawieszony nad torem sieci trakcyjnej spowodowana jest oddziaływaniem na siebie dwu systemów posiadających łącznie nieskończoną liczbę stopni swobody. Sieć trakcyjna przedstawiająca sobą system ze zmiennymi wzdłuż przelotu parametrami wykonuje w przeważającej mierze drgania wymuszone, generowane ze strony odbieraka prądu ze zmienną siłą i częstotliwością.

Te okresowe zmiany stanu systemu zachodzące dokoła położenia równowagi pod wpływem dostarczanej energii i przyjmujące charakter drgań złożonych z wielu drgań harmonicznych z przestrzennym odchyleniem od położenia równowagi, automatycznie nadają kierunek badaniom teoretycznym, przedmiotem których powinna być wnikliwa analiza mechanicznego układu drgań.

Dlatego też badania należy sprowadzić do matematycznego opisu zjawisk zachodzących w ślizgowym kontakcie w procesie drgania systemu odbierak-sieć, z dokładnym uwzględnieniem wszystkich czynników biorących w nim udział.

Analizując przed tawioru na rys. 1 mechaniczny układ drgań obrazujący z dużym uproszczeniem współpracę odbieraka z siecią, można opisać zachowanie się układu sieci oddzielnie - równaniem;



Rys. 1. Uproszczony schemat zastępczy współpracy sieci trakcyjnej z odbierakiem prądu

$$m_s(x) \frac{d^2 y}{dt^2} + C_s(x)y = F_k(x)$$

lub inaczej

$$m_s(x) \frac{d^2 y}{dx^2} v^2 + C_s(x)y = F_k(x)$$

gdzie:

$m_s(x)$  - masa sieci trakcyjnej, zmieniająca się na długości przelotu,

$C_s(x)$  - sztywność sieci trakcyjnej zmieniająca się na długości przelotu,

$v$  - prędkość przemieszczania się wymuszającej siły

w kontakcie  $F_k(x)$  również zmieniającej się w przelocie na skutek wzajemnego dynamicznego oddziaływania dwóch systemów.

W przedstawionym równaniu umyślnie pominięto siły tłumiące wywołane tarciami w sieci trakcyjnej [1], jak również wszystkie siły występujące w układzie odbieraka prądu w celu szczególnego skoncentrowania uwagi na sile bezwładności związanej z masą sieci trakcyjnej.

Nadając rozważaniom teoretycznym kierunek badań nad zmianami stanu przemieszczającego się systemu, nieodzowne jest wnikliwe przeanalizowanie dotychczas istniejących metod w określaniu liczbowej wartości masy sieci trakcyjnej.

Określenie najbardziej prawdopodobnych wartości liczbowych tego parametru, jak również znalezienie jego zmienności na długości przelotu w dużej mierze przyczyni się do otrzymania zadowalających rezultatów przy rozwiązywaniu równań różniczkowych. W chwili obecnej parametr ten jest najbardziej kontrowersyjny, a znaczne trudności w jego określeniu podzieliły zdanie badaczy, w konsekwencji czego otrzymywane bywają bardzo zróżnicowane wyniki. Fakt ten, jak również duża aktualność zagadnienia powodują konieczność uważnego prześledzenia niektórych najbardziej zasługujących na uwagę prac na ten temat oraz wyrażenia własnych poglądów, co stanowi treść niniejszego artykułu.

Poddawana rozważaniom sieć trakcyjna przedstawia sobą zespół drutów jezdnych powiązanych z liną nośną za pomocą elastycznych wieszaków. Wywiezana w sekcjach o możliwie największych długościach (uwarunkowanych możliwościami kompensacji rozszerzalności liniowej), podwieszana zostaje do konstrukcji wsporczych, wynoszących ją nad tor i nadających jej konstrukcyjne wymiary w pionie i poziomie.

Tym samym konstrukcje nośne, gwarantując ciągłość sieci, ustalają długość przelotu, którego przeciętna rozpiętość waha się w granicach od 60 do 80 m.

Pojęcie masy sieci w tym wypadku odbiega od symboliki stosowanej w fizyce w dziedzinie ruchu drgającego i należy operować pojęciem masy skupionej, sprowadzonej lub ekwiwalentnej, takiej która bierze rzeczywisty udział w procesie drgań rozpatrywanego systemu.

Przyjmując sporadycznie stosowany w krajowej literaturze termin "masa zastępcza", na określenie masy sieci biorącej udział we współpracy z odbierakiem, można pojęcie to zdefiniować następująco [2].

Masa zastępcza sieci trakcyjnej jest to skupiona w punkcie kontaktu odbieraka prądu z drutem jezdny masa mniemana, która przemieszcza się razem z odbierakiem i posiada w tym punkcie tę samą prędkość pionową co drut jezdny.

Zasób kinetycznej energii tej masy równy jest zasobowi kinetycznej energii całej sieci trakcyjnej w rozpatrywanym przelocie. Ponieważ masa zastępcza jest podstawową, dynamiczną charakterystyką sieci trakcyjnej, metodyka jej obliczania znajduje się w centrum uwagi wielu naukowców.

W zajmowaniu stanowiska na temat, czy masa zastępcza sieci w przelocie jest stała lub zmienna, następuje podział wśród fachowców na dwie grupy. Wszyscy są zgodni co do tego, że masa zastępcza zmienia swoją wartość wzdłuż przelotu, tym niemniej jedni uważają, że zmiany te są mało znaczące i wprowadzają pojęcie średniej masy zastępczej " $m_{SO}$ ", natomiast inni twierdzą, że wielkość masy zastępczej ulega znacznym zmianom wzdłuż przelotu i oznaczana będzie symbolem " $m_S(x)$ ". Doprowadziło to do dużego rozróżnienia otrzymanych z obliczeń wartości i z rekomendowanych przez różnych autorów zależności wynika, że dla tego samego typu sieci trakcyjnej w oddzielnych przypadkach otrzymane wartości różnią się około 20-krotnie.

Pierwszym analitycznym podejściem do rozwiązania tego zagadnienia była praca H. Niblera [3]. Autor przyjął, że ponieważ sztywność sieci trakcyjnej periodycznie zmienia się począwszy od punktu podwieszenia do środka przelotu w kształcie przypominającym sinusoidę, to również wartość masy zastępczej sieci można w przybliżeniu określić jako średnią wartość sinusoidy przy pomocy wzoru:

$$m_{SO} = (m'') = \frac{l \cdot q_S}{\pi}$$

gdzie:

- l - rozpiętość pręszła zawieszenia w m,
- $q_S$  - jednostkowa masa sieci kg/m.

W nawiasie podawane będą oznaczenia, którymi posłużyli się autorzy.

Przypisując znaczne zalety sieciom charakteryzującym się dużą efektywną masą, autor dowodzi, że masa zastępcza sieci powinna być większa od masy zastępczej odbieraka, proponując warunek:

$$m' \leq \frac{l q_B}{\kappa}$$

$m'$  - masa zastępcza odbieraka w odniesieniu do punktu współpracy.

Odmienne punkty widzenia reprezentują uczeni angielscy A. Tustin i R. Broomfield [4] twierdząc, że sieć powinna być jak najlżejsza, co możliwe jest do zrealizowania tylko w sieciach pracujących w systemie prądu przemiennego.

Do chwili obecnej aktualna jest grafoanalityczna metoda badania mechanicznej współpracy odbieraka z siecią opracowana przez H. Niblera i następnie udoskonalona przez I. Własowa [5].

W metodzie tej masa zastępcza sieci określana jest masą części sieci trakcyjnej uniesionej przez odbierak prądu.

W przybliżeniu przyjęto, że masa jest niezmienna na długości przelotu i równa;

$$m_{B0} = (m_2) = \frac{F_2}{9,81}$$

gdzie:

$F_2$  - wartość nacisku pasywnego odbieraka.

Dla bardziej dokładnych obliczeń masę zastępczą rekomenduje się przyjmować jako zmieniającą się w zależności od wartości siły dynamicznego nacisku odbieraka na sieć  $F_k$  i obliczać z zależności:

$$m_B(F_k) = (m_2) = \frac{F_k}{9,81}$$

Następnie M. Süberkrüb [6] proponuje obliczać masę zastępczą sieci z następującej zależności:

$$m_{B0} = (m) = l q_B$$

Początek bardziej wnikliwych rozważań teoretycznych odnieść należy do pracy A.W. Płaksa [7]. W pracy tej przedmiotem badań była energia kinetyczna, która pojawia się w sieci w czasie wymuszonego przemieszczania się jej w płaszczyźnie pionowej pod wpływem ruchomego nacisku odbieraka. W obliczeniach masy zastępczej sieci przyjęto następujące założenia:

- 1) rozpatrywaniu podlegają tylko pionowe drgania sieci spowodowane ruchem odbieraka, natomiast drgań spowodowanych działalnością strumieni wiatru lub innymi przyczynami, nie brano pod uwagę,
- 2) nie brano pod uwagę sztywności drutów jezdnych i liny nośnej,
- 3) linię zwisu drutu jezdnych przyjęto według krzywej parabolicznej,
- 4) naciąg drutów jezdnych i liny nośnej w przelocie przyjęto jako stały oraz nie uwzględniono siły tarcia pomiędzy ślizgaczem, a drutem jezdny,

- 5) nie brano pod uwagę energii wyższych harmonicznych drgań sieci,  
 6) liczbę wieszaków w przelocie przyjęto za nieskończenie dużą.

W toku przeprowadzonych badań autor doszedł do wniosku, że wysokość uniesienia drutu jezdnego minimalnie wpływa na wartość masy i ostatecznie po długich i starannych badaniach wzór na średnią masę zastępczą sieci przedstawiony został w postaci [8]:

$$m_{so} = (m_0) = \sqrt{\frac{2 \cdot 1 \cdot q_d \cdot F_{st} \cdot (1 - \frac{\alpha}{2})}{\alpha}}$$

gdzie:

$F_{st}$  - siła statycznego nacisku odbieraka na sieć, wynikająca z działania mechanizmu podnoszącego,

$\alpha$  - współczynnik zmiany elastyczności sieci trakcyjnej  $[E_s = \frac{1}{\alpha}]$  w przelocie,

$$\alpha = 1 - \frac{E_{s \min}}{E_{s \max}}$$

$q_d$  - jednostkowa masa drutu jezdnego kg/m.

Średnia wartość elastyczności sieci praktycznie odnajdywana jest w punkcie znajdującym się w odległości  $\frac{1}{2\sqrt{3}}$  od środka przelotu. Badania powyższe pogłębił w oparciu o materiał  $2\sqrt{3}$  eksperymentalny uzyskany z jazd liniowych I. Bieliajew [9].

Dokonane obserwacje nad współpracą odbieraka z siecią pozwoliły na opracowanie empirycznych wzorów dla określenia położenia drutu jezdnego w momencie wypierania go przez odbierak prądu. Ponadto po raz pierwszy odnotował spostrzeżenie, że wielkość masy zależy od wysokości pionowego wyparcia sieci.

Wprowadzając uzyskane wyniki badań do wzoru, A. Płaksa otrzymał zależność na określenie położenia drutu jezdnego.

Jednakże ze względu na złożoność interpretacji we wzorze trajektorii przemieszczania się drutu jezdnego, wprowadził pojęcie średniej wartości masy zastępczej, określanej przy pomocy średniej wielkości uniesienia drutu.

W ten sposób zależność na określenie średniej masy zastępczej sieci trakcyjnej przyjęła postać:

$$m_{so} = (m_0) = 0,55 \sqrt{q_d \cdot 1 \cdot (1 - \frac{\alpha}{2,5}) \cdot (F_{st} + F_{ar})}$$

gdzie:

$F_{ar}$  - składowa aerodynamiczna nacisku odbieraka prądu na sieć,

Wyniki eksperymentalnych badań otrzymane podczasjazd z różnymi prędkościami na różnych typach sieci pozwoliły potwierdzić hipotezę wysuniętą przez Własowa, że masa uniesionej przez odbierak sieci w przelocie w każdym momencie czasu równa jest sile nacisku występującej w kontakcie.

Rezultaty przytoczonych badań eksperymentalnych przyczyniły się do dokonania korekty współczynnika występującego w wyżej przytoczonym wzorze. Wobec czego przyjął on ostatecznie postać następującą:

$$\bar{m}_{so} = (m_o) = 0,45 \sqrt{q_d l (1 - \frac{\alpha}{2,5}) (F_{st} + F_{ar})}$$

Zależność ta do chwili obecnej jest aktualna i praktycznie stosowana na sieciach trakcyjnych eksploatowanych na kolejach radzieckich.

Praca I. Kumesawy, prowadzona w związku z wyborem najbardziej właściwego typu sieci na nową linię Tokaido [10], zapoczątkowała drugi kierunek badań sugerujący uwzględnienie zmienności masy zastępczej wzdłuż przelotu. Masa zastępcza określona została w oparciu o poligonowe dane eksperymentalne dwóch parametrów; częstotliwości swobodnych drgań sieci trakcyjnej " $f_s$ " i sztywności " $C_s$ ".

Uzyskane wartości po podstawieniu do zależności

$$f_s = \frac{1}{2x} \sqrt{\frac{C_s}{m_s}}$$

pozwoliły określić wielkość masy w dowolnym miejscu przelotu i otrzymany wykres  $m_s = f(x)$  podobny jest do krzywej zmienności sztywności statycznej wzdłuż przelotu.

Charakter zmienności masy zastępczej z dużym przybliżeniem przyjmuje autor za podobny do sinusoidalnego, w związku z czym masę zastępczą proponuje obliczać z następującego wzoru;

$$m_s(x) = [m(x)] = \bar{m}_s (1 - \mathcal{E}_m \cos \frac{2\pi}{l} x)$$

gdzie:

$\bar{m}_s$  - średnia wartość masy zastępczej sieci,

$$\bar{m}_s = \frac{1}{2} (m_s \max + m_s \min),$$

$\mathcal{E}_m$  - stopień nierównomierności masy,

$$\mathcal{E}_m = \frac{m_s \max - m_s \min}{m_s \max + m_s \min}$$

Powyższe badania miały niewątpliwie wpływ na pracę L. Pascucci [12], który, analizując zmienność wartości elastyczności statycznej i masy zastępczej sieci trakcyjnej wzdłuż przelotu, zwrócił uwagę na fakt, że są one w stosunku do siebie odwrotnie proporcjonalne, co utwierdziło go w słuszności założenia, że iloczyn ( $E_s \cdot m_s$ ) będzie wielkością stałą dla do-

wolnie badanego punktu przelotu. Możliwość takiej interpretacji przypuszczalnie opiera o wyniki badań eksperymentalnych. Otóż praktyka wykazała [1], że częstotliwość swobodnych drgań sieci niezmienna na długości przelotu - określona masą i elastycznością sieci - nie zależy od miejsca przyłożenia impulsu w granicach przelotu, wobec czego zakłada, że:

$$E_s m_s = \text{const.}$$

Teoretyczne uzasadnienie powyżej dokonanego założenia znalazło potwierdzenie w pracy L. Pomakowa [13]. W badaniach nad określeniem masy zastępczej zajmował się on bilansem zasobu energii występującej w sieci podczas pionowego przemieszczania się jej pod wpływem nacisku odbieraka.

Analiza wielkości masy zastępczej w różnych punktach przelotu na drodze porównania zmiany jej kinetycznej lub potencjalnej energii była dokonana przy tych samych zmianach prędkości lub jednakowych wartościach przyspieszeń pionowych i pozwoliła autorowi wyprowadzić równanie;

$$\frac{m_{s1}}{c_{s1}} = \frac{m_{s2}}{c_{s2}} = \dots = \frac{m_{sn}}{c_{sn}} = m_{s1} E_{s1} = m_{s2} E_{s2} = \dots = m_{sn} E_{sn} = \text{const} = KM$$

gdzie:

$KM$  - współczynnik proporcjonalności masy zastępczej sieci w  $s^2$ .

Z powyższej zależności wynika, że masę zastępczą w dowolnym punkcie przelotu można określić przy pomocy sztywności (lub elastyczności) statycznej sieci i współczynnika  $KM$ . Opracowanie eksperymentalnych danych w pracy [8] polegało głównie na znalezieniu liczbowej wartości stosunku masy zastępczej do sztywności w różnych punktach przelotu. Rezultaty porównań potwierdziły słuszność hipotezy o niezmienności badanego stosunku. Wartość liczbową  $KM$  zależy głównie od konstrukcji sieci trakcyjnej i masy jednostkowej drutu jezdnego. Praktycznie współczynnik  $KM$  można obliczyć dla dowolnego typu sieci w przypadku posiadania wartości masy zastępczej chociaż w jednym punkcie przelotu. Za najodpowiedniejszy punkt wybrany został środek przelotu i rekomendowany wzór na obliczenie masy zastępczej przyjął postać:

$$m_{s \ 1/2} = \left( \frac{q_d}{2} - \frac{2}{3} q_1 \right)$$

gdzie:

$q_1$  - jednostkowa masa linki nośnej  $kg/m$ .

Wobec tego masę zastępczą sieci w dowolnym punkcie przelotu można obliczyć przy pomocy zależności:



$$m_s(x) = [m(x)] = \frac{KM}{E_s(x)} = \frac{m_{s1/2} \cdot E_{s1/2}}{E_s(x)}$$

Jak wynika z przeprowadzonej analizy, w pracach prowadzonych nad określeniem wielkości masy zastępczej zdecydowanie występują dwa kierunki badań;

- w pierwszym masa zastępcza rozpatrywana jest stosownie do długości uniesionej przez odbierak części sieci trakcyjnej,
- w drugim masę zastępczą określa się z warunku dynamicznej równowagi systemu, słuszność której oparta jest na przyrównaniu częstotliwości drgań systemu z jednym stopniem swobody z częstotliwością drgań systemu z nieskończenie dużą ilością stopni swobody.

Prawdopodobnie tym ukierunkowaniem wyjaśniona może być zasadnicza różnica występująca w rezultatach otrzymanych przez różnych badaczy.

Na rys. 2c dokonano zestawienia wielkości masy zastępczej w zależności od miejsca w przelocie, otrzymanych przy pomocy wzorów rekomendowanych przez rozpatrywanych autorów. Dla sporządzenia wykresów posłużono się w każdym przypadku tym samym typem sieci trakcyjnej konstrukcji japońskiej (rys. 2a) charakteryzującej się następującymi parametrami:  $T=N=10.000$  N,  $F_{st} = 60$  N, linka nośna Fe 80 mm<sup>2</sup>, drut jezdny Cu 110 mm<sup>2</sup>,  $E_{min} = 0,000207$  m/N,  $E_{max} = 0,000745$  m/N.

Sztywność sieci obliczana była z zamieszczonej na rys. 2b krzywej uniesienia drutu jezdnego uzyskanej w rezultacie przemieszczania wzdłuż przelotu stałej siły statycznej wypierającej sieć z dołu do góry.

Prace w dziedzinie ustalenia wielkości masy zastępczej sieci trakcyjnej na polskich kolejach były dokonane w oparciu o eksperymentalne badania przeprowadzone na specjalnie przygotowanym dla tego celu poligonie doświadczalnym w Częstochowie [14].

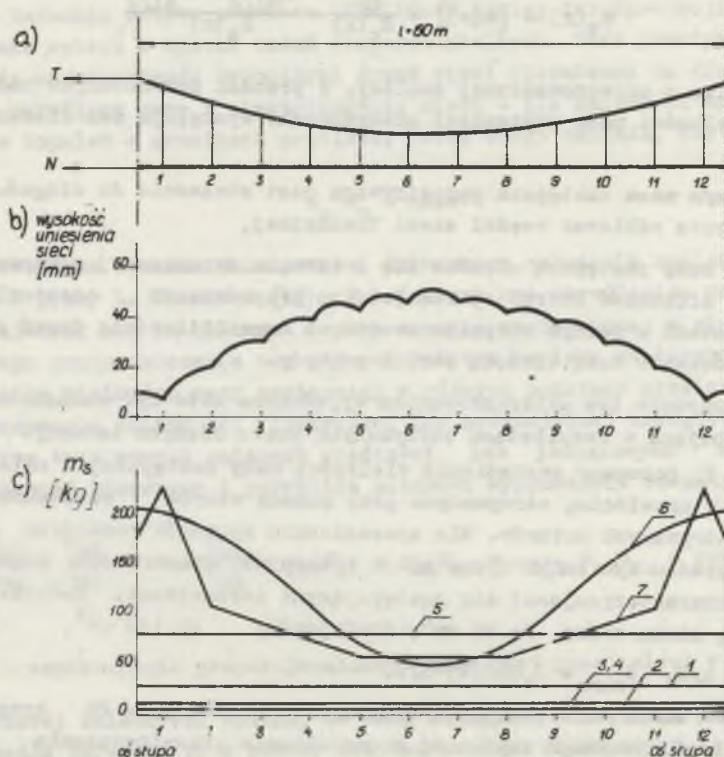
Dokonane zostały w sposób odmienny w stosunku do przedstawionych badań tym niemniej otrzymane wyniki zdecydowanie zbliżone są do rezultatów uzyskanych w pierwszej grupie kierunku badań, chociaż wyraźnie różnią się rozkładem zmienności masy zastępczej wzdłuż przelotu. Masę zastępczą uczestniczącą w procesie drgania w każdym punkcie przelotu można otrzymać z podstawowego równania różniczkowego (uwzględniającego również występujące w sieci siły tarcia suchego i lepkiego), dla siły występującej w punkcie kontaktu w ruchu do góry, z następującej zależności:

$$F_k = m_s \ddot{y} + \gamma_s \dot{y} + C_s y + W_s$$

gdzie:

$\gamma_s$  - współczynnik tarcia lepkiego sieci trakcyjnej,

$W_s$  - siła tarcia suchego występująca w rozpatrywanym punkcie przelotu.



Rys. 2. Sieć trakcyjna i jej statyczno-dynamiczne parametry

a) sieć pojedynczo-łańcuchowa konstrukcji japońskiej, b) charakterystyka statyczna uniesienia sieci pod działaniem wypierającej siły  $F_{st}$ , c) zmiana wielkości masy zastępczej sieci wzdłuż przelotu obliczana wg wzorów; krzywe - 1. H. Niblera; 2. I. Własowa, 3. A. Płaksa, 4. I. Bielajwea 5. M. Süberkürba, 6. I. Kumesawy, 7. L. Pomakowa

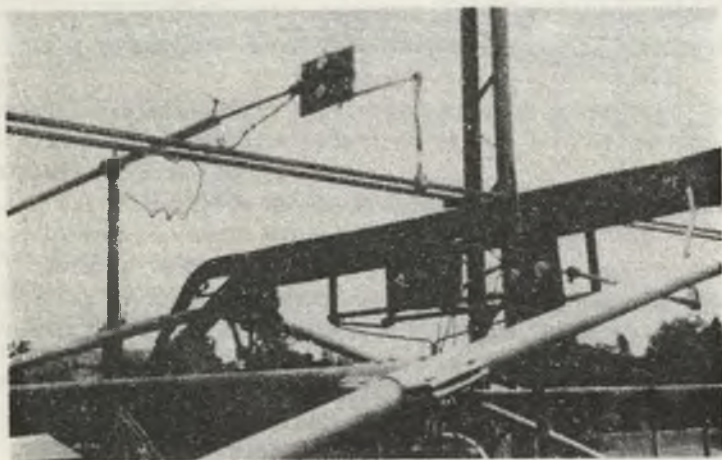
Wchodzące w zależność wielkości za wyjątkiem " $m_s$ " określone zostały przy pomocy eksperymentu. Obserwacje prowadzono dla momentu kiedy amplituda drgań posiada maksymalną wartość ( $a_{max}$ ) wykorzystując tym samym sytuację, kiedy szybkość przemieszczania się sieci " $\dot{y}$ " równa się zero. Przyspieszenie, jakie uzyskała sieć " $\ddot{y}$ ", było odnotowywane pomiarem dublowanym, zarówno przyspieszeniemierzem, jak również analitycznie przy pomocy zależności:

$$\ddot{y} = a_{max} (2\pi f_s)^2$$

Korzystając z wartości liczbowych  $C_s$  i  $W_s$ , uzyskanych drogą oddzielnie przeprowadzonych pomiarów, poszukiwana masa zastępcza obliczana była z zależności:

$$m_s = \frac{F_k - U_s a_{max} - W_s}{\ddot{y}}$$

Siła występująca w kontakcie  $F_k$  mierzona była przy pomocy specjalnie dla tego celu skonstruowanego czujnika siły, umieszczonego w ślizgaczu w sposób gwarantujący niezmiennosc ciężaru ślizgacza oraz możliwość przesuwania kontaktu z drutami jezdnyymi w zależności od położenia ich w planie. Masa odbieraka prądu na poziomie kontaktu z drutem jezdnyim wynosiła 35,2 kg, pomiaru dokonywano każdorazowo przy  $F_{st} = 70$  i 100 N. Zestaw czujników zamontowanych na odbieraku prądu i następnie połączonych z oscylografem pętlicowym ilustruje rys. 3.

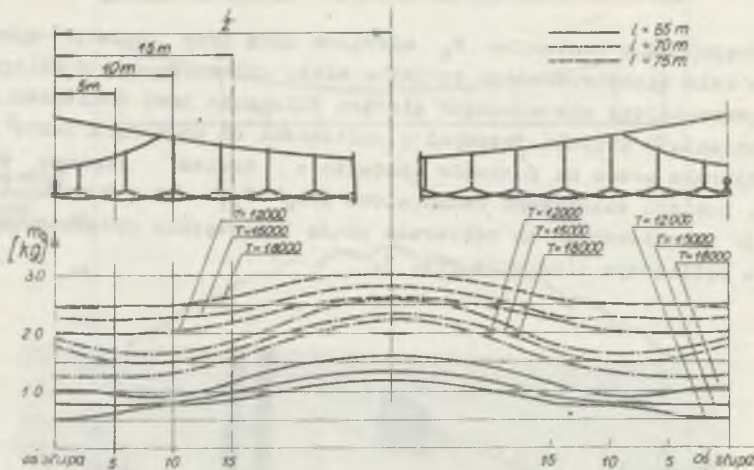


Rys. 3. Rozmieszczenie czujników na ślizgaczu doświadczalnego odbieraka prądu typu H I S 1E/Cu

Pomiar dokonywany był w różnych punktach przelotu sieci trakcyjnej przy pomocy przemieszczania po torze pomiarowego odbieraka prądu umieszczonego w wózku szynowym. Wymuszone drgania harmoniczne na sieci trakcyjnej uzyskano przy pomocy okresowej siły zewnętrznej  $F = F_0 \sin \omega t$ , otrzymanej z generatora drgań podłączonego do sieci w odległości nie mniejszej niż 1/2 od stanowiska pomiarowego.

Wyniki uzyskane z obliczeń przeprowadzonych na podstawie danych uzyskanych z eksperymentalnych badań uwzględniających różne długości przelotu i konstrukcyjne parametry sieci trakcyjnej przedstawia rys. 4.

Nie podlegały zmianom parametry naciągu w drutach jezdnych i zawieszania elastycznego "Y" i wynosiły: 2N = 20.000N długość linki elastycznej 2a = 18 m, naciąg w linie H = 1500 N.



Rys. 4. Eksperymentalne krzywe zmiany wielkości masy zastępczej sieci trakcyjnej wzdłuż przelotu

Z rys. 4 wynika, że zwiększenie wartości liczbowej masy zastępczej sieci proporcjonalne jest do długości przelotu i wzrasta z podwyższeniem napięcia w linie nośnej, co podobnie może odnosić się do drutów jezdnych.

Wyniki badań wskazują, że charakter krzywej zmienności masy zastępczej wzdłuż przelotu podobny jest do krzywej elastyczności statycznej sieci, wobec czego podlega ona w przybliżeniu podobnym zależnościom jak elastyczność. Zatem podczas rozwiązywania równań różniczkowych dotyczących sieci ciężkich, charakteryzujących się dużymi rozpiętościami przęsek, celowe jest przyjmować przedział zmiany masy zastępczej sieci trakcyjnej w granicach od 15 do 30 kg.

#### LITERATURA

- [1] Fidrych Z.: Eksperymentalne określenie dynamicznych parametrów sieci trakcyjnej. Przegląd Kolejowy Elektrotechniczny, 1975, Nr 6.
- [2] Bielajew I.A.: Wzajemdziałanie tokoprjemnika i kontaktnej sieci pri wysokich skorostiach dwizenija. Izdatielstwo Transport. Moskwa 1968.
- [3] Nibler H.: Dynamisches Verhalten von Fahrleitung und Stromabnehmer bei elektrischen Hauptbahnen. Glasers Annalen. 1949 Nr 11, 12.
- [4] Tustin A., Broomfield R.: Trolley wire overhead for main line railways. "The Railway Gazette" march 7, 1969; Vol. 125 Nr 5.
- [5] Własow I.I.: Mieczaniczeskije raschioty wiertikalnych cepnych kontaktnych podwiesok. Trudy CNII MPS wypusk 138. Transzëldorizdat, 1957.

- [6] Süberkrüb M.: Die Elastizität und die Dynamik von Fahrleitung und Stromabnehmer. "Elektrische Bahnen", 1959 Nr 3, 4.
- [7] Płaks A.W.: Issledowanije wzaimodiejstwija tokoprijomnika i kontaktnoj sieti pri wysokich skorostiach dwiženija. Trudy LIIŽTa wypusk 167. Transžekdorizdat 1959.
- [8] Płaks A.W.: Wlijanije parametrow kontaktnoj podwieski na kolebanija tokoprijemnika pri wysokich skorostjach dwiženija. Trudy LIIŽTa wypusk 177. "Elektrifikacija żeleźnych dorog" Leningrad, 1961.
- [9] Bielajew I.A.: Priwiedionnaja masa kontaktnoj podwieski. Wiestnik CNII MPS, Moskwa, 1966 Nr 6.
- [10] Kumesawa I.: Konstrukcje sieci trakcyjnych i ich charakterystyki. Tłumaczenie z języka japońskiego. Denki Tecudo, 1964 t. 18, Nr 8 str. 8-11.
- [11] Fidrych Z.: Częstość i szybkość rozchodzenia się drgań w sieci trakcyjnej. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Elektryka Nr 46, 1975.
- [12] Pascucci L.: Elasticznost i kolebanija cepnoj podwieski kontaktnoj sieti elektrificirowannych żeleźnych dorog. Jeżemiesjacznij bjuleteń MAŽK, 1963, Nr 1.
- [13] Pomakow L.: Dissertacija na soiskanije uczjonoj stiepieni k.t.n. na tiemu; Miechaniczeskoe wzaimodiejstwie tokoprijomnika i kontaktnoj sieti. Moskwa, 1965.
- [14] Fidrych Z.: Issledowanje wlijanja parametrow kontaktnoj podwieski na kaczestwo tokosjoma pri wysokich skorostjach dwiženija. Moskwa 1971.

Przyjęto do druku w marcu 1976 r.

#### СПОСОБЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИВЕДЕННОЙ МАССЫ

#### Резюме

В теоретических исследованиях динамического взаимодействия токоприёмника с контактной подвеской в основу которых принята колебательная система, одним из главных параметров является масса подвески.

В принятой системе масса подвески отличается от понятий принятых в физике и характеризуется бесконечной длиной по отношению к массе взаимодействующего с ней токоприёмника, в связи с чем введено понятие приведенной массы сводя систему к классическому виду.

В статье обсуждены расхождения в результатах зарубежных исследований и представлены результаты экспериментальных исследований проведенных на польских железных дорогах по приведенной массе.

## METHODS OF DETERMINING THE SUBSTITUTIONAL MASS OF CONTACT SYSTEM

## Summary

The mass of electrical network is the most important parameter in theoretical examination of dynamic cooperation of the current collector and the contact system; the examination resolving itself into investigation of oscillating system.

In the accepted system the notion of the mass of electric network differs from notions used in physics. It is characterised by indefinita length in relation to the current collector which cooperates with it; therefore, a term of substitute mass has been used which brought the system to the classical form.

The article presents very differentiated results of research work carried abroad as well as the results of experiments on substitute mass carried at Polish Railways.