

WIESŁAW JAKUBAS*

BADANIA SYMULACYJNE IMPEDANCJI WEJŚCIOWEJ OBWODÓW TOROWYCH DLA SYGNAŁÓW WYŻSZYCH CZĘSTOTLIWOŚCI

RAILWAY CIRCUITS' INPUT IMPEDANCE WITH HIGHER FREQUENCY SUPPLY SIMULATION TESTS

Streszczenie

W części wstępnej referatu uzasadniono wykonanie cyklu badań symulacyjnych impedancji wejściowej obwodów torowych o podwyższonej częstotliwości zasilania. Następnie przyjęto najważniejsze założenia dla badania impedancji wejściowej obwodów. Zmodyfikowane modele matematyczne obwodów torowych wyższych częstotliwości zasilania uwzględniają: impedancję wejściową toru niezajętego przez tabor, zmiany impedancji wejściowej w czasie przejazdu jednej osi taboru, zmiany impedancji wejściowej w czasie przejazdu dwóch osi taboru, a także ich wrażliwość na zmiany niektórych parametrów toru. Dla wymienionych przypadków zrealizowano programy obliczeniowe w języku MATLAB uzyskując szereg wykresów do dyskusji osiągniętych rezultatów. Referat kończy podsumowanie z wnioskami z przeprowadzonych badań.

Słowa kluczowe: obwód torowy, badania symulacyjne, impedancja wejściowa, oś taboru

Abstract

In the introductory part of the paper, the carrying out of the series of the railway circuits' input impedance with increased frequency voltage supply simulation tests was substantiated. Next, important assumptions for the circuits' input impedance testing were made. Modified mathematical models of the railway circuits with higher frequency voltage supply include: input impedance of the railway track which is not occupied with railway rolling stock, changes of the input impedance during one railway rolling stock arbor ride, and also their susceptibility to changes of some of the railway parameters. Calculation programs in Matlab were written for each of the above cases, which gave a number (a variety) of diagrams for further discussion of the results that were obtained. The paper ends with the summary and conclusions based on the results obtained from the tests that were carried out.

Keywords: track circuit, simulation research, input impedance, axle rolling stock

* Dr inż. Wiesław Jakubas – Katedra Elektrotechniki i Elektroniki, Wydział Inżynierii Elektrycznej i Komputerowej, Politechnika Krakowska.

1. Wstęp

Referat przygotowany na konferencję [4], a następnie opublikowany w [3] dotyczył analizy reakcji wybranego obwodu nakładanego wysokiej częstotliwości na bocznikowanie kolejnymi osiami przemieszczającego się taboru przez odcinek obwodu torowego. Konkretny obwód EON-6, generujący sygnały o częstotliwości 20 kHz, pozwolił zbadać, jaka jest reakcja napięcia na zaciskach nadajnika podłączonych do toru podczas przemieszczania się kolejnych osi wagonu. Tu doszło do ograniczenia dalszych badań związanego z brakiem wiarygodnych parametrów jednostkowych toru dla wyższych częstotliwości oraz brakiem wartości impedancji wyjściowej nadajników EOC dla wyższych częstotliwości.

Należy nadmienić, że zarówno starsze modele układów EON-6, jak i nowocześniejsze układy EOC [6] posiadają zestawy pracujące na częstotliwościach dochodzących do 40 kHz.

Wypada zatem podjąć dalsze badania, aby określić predyspozycje układów o wyższych częstotliwościach dla systemów kontroli zajętości odcinków toru, a zwłaszcza dla systemów liczenia osi. Takimi akcentami podsumowującymi kończył się poprzedni referat [4].

Zgodnie z sugestią recenzenta artykułu [3] należałoby przyjrzeć się zmianom impedancji wejściowej takich odcinków toru (zasilanych sygnałami o wyższych częstotliwościach), aby stwierdzić, czy mogą oddawać zmiany badanych poprzednio napięć wejściowych obwodu. To właśnie będzie stanowić przedmiot badań i analiz niniejszego artykułu. Wykazanie, iż zmiany impedancji wejściowej „śledzą” zmiany napięcia zasilającego obwód da podstawę do porównań obwodów stosowanych w praktyce, a także tych, które mogą się pojawić w przyszłości. Zatem podejście takie będzie uniwersalne i niezależne od rodzaju elektronicznego obwodu nakładanego, jego parametrów wyjściowych i odmian technologicznych. Istotne staną się tylko parametry jednostkowe odcinka toru i częstotliwość sygnału zasilającego.

Aby w pełni zrealizować ten zamysł, należy również zbadać wrażliwość uzyskanych podczas przejazdu krzywych oddziaływania na zmiany parametrów, których wartości dla wyższych częstotliwości nie znajdują się w literaturze. Trzeba do nich zaliczyć rezystancję jednostkową podtorza oraz jednostkową pojemność międzytokową szyn. Pozostałe parametry wzdłużne szyn można obliczyć według wzorów dostępnych w literaturze [2].

2. Modyfikacja modeli matematycznych do badania impedancji wejściowej obwodów torowych

W [3] przyjęte zostały założenia do przeprowadzenia opisanych tam badań symulacyjnych. Wiele założeń wiązało się z konkretnym typem nadajnika układu EON-6 o częstotliwości 20 kHz. Należy odejść od tego założenia i przyjąć, że zakres częstotliwości będzie znacznie szerszy.

Zakres 20–60 kHz wydaje się najwłaściwszy, zwłaszcza w świetle wcześniejszych postulatów, i otwiera drogę do dalszych badań w zakresie coraz wyższych częstotliwości.

Modele matematyczne zostaną zmodyfikowane dla toru z szynami S60, symetrycznego wzdłużnie i poprzecznie o parametrach jednostkowych rozłożonych równomiernie.

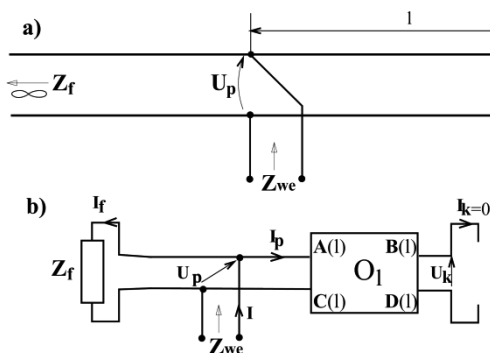
Co do parametrów jednostkowych, których dane dla wyższych częstotliwości nie są osiągalne, można przyjąć zakresy zmienności rezystancji jednostkowej podtorza np. 1000–10 000 $\Omega \cdot \text{m}$ i pojemności jednostkowej międzytokowej w zakresie 0,03–0,3 nF/m.

Są to kilkunastokrotne zmiany pojemności jednostkowej, międzytokowej, która w poprzednim cyklu badań utrzymywana była na stałym poziomie, czyli 0,08 nF/m. Zmiany rezystancji jednostkowej podtorza utrzymane zostały jak powyżej.

Nie są to granice sztywne, lecz zaproponowane do wstępnej oceny wrażliwości obwodu na te parametry przy wyższych częstotliwościach. W przypadku znacznej podatności obwodu na zmianę jednego, drugiego lub obydwu parametrów należy ten fragment badań poszerzyć i uszczegółwić.

Inne założenia upraszczające obejmują: stałą temperaturę badań 20°C, stałą impedancję bocznikowania jednego zestawu kołowego (0,2 Ω moduł) oraz brak powrotnych prądów trakcyjnych. Założenie w kwestii stałej impedancji bocznikowania jest wstępne i bardzo upraszczające. Wiadomo, że wraz ze wzrostem częstotliwości część reaktancyjna osi zestawu rośnie i nasila się efekt naskórkowości. Zatem nie można jej potraktować jako stałej w tak szerokim zakresie częstotliwości. Ta część wymaga również rozwinięcia, ale już na innym etapie badań.

Pierwsza faza badań dotyczy obwodu niebocznikowanego przez zestaw kołowy, a pokazuje zmiany impedancji wejściowej toru o długości „l”, zwiększającej się od zera aż do kilkuset metrów (rys. 1).



Rys. 1. Schemat poglądowy (a) i schemat zastępczy (b) dla odcinka toru wolnego

Fig. 1. Schematic representation (a) and equivalent circuit (b) for the free track section

Zależność opisująca model matematyczny do badań symulacyjnych jest dość prosta i wyrażona za [3] wzorem (1). Lewostronna część obwodu jest zamknięta impedancją falową Z_f , chociaż program w Matlabie [5] zapewnia pełną symetrię otrzymywanych wykresów.

$$Z_{we}(l) = \frac{Z_f \cdot A(l)}{Z_f \cdot C(l) + A(l)} \quad (1)$$

gdzie:

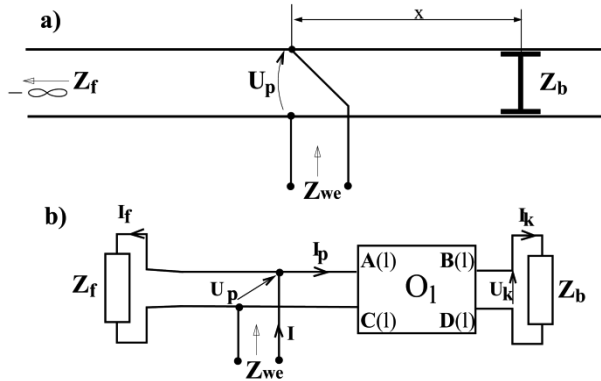
- $A(l), B(l), C(l), D(l)$ – parametry macierzy łańcuchowej odcinka toru [1],
- Z_f – impedancja falowa [1],
- $Z_{we}(l)$ – impedancja wejściowa odcinka toru wolnego o długości l,

- Z_b** – moduł impedancji bocznikowania zestawu kołowego,
l – długość odcinka toru otwartego.

Oznaczenia są zgodne ze zmodyfikowanym rys. 1 i zestawione w legendzie powyżej.

Zależność (1) stanowi podstawę do opracowania programu obliczeniowego. Podstawowej reakcji impedancji wejściowej można się spodziewać już na początku. Impedancja wejściowa **Z_{we}(l)** będzie się zmniejszała wraz ze wzrostem długości **l** odcinka. Pozostałe cechy, a więc zachowanie się przy zmianach częstotliwości i wrażliwość na rozrzut parametrów wskazanych wcześniej, ujawnią się po uzyskaniu wyników z programu obliczeniowego. Porównanie do przebiegu zmian napięcia wejściowego dla tego przypadku będzie możliwe po otrzymaniu kompletu wyników badań symulacyjnych.

Kolejny przypadek dotyczy bocznikowania wcześniej zaprezentowanego obwodu przez jedną oś zestawu kołowego. Rysunek poglądowy 2a i schemat zastępczy 2b wyglądają podobnie jak w referacie [4].



Rys. 2. Schemat poglądowy (a) i schemat zastępczy (b) obwodu z jedną osią taboru

Fig. 2. Schematic representation (a) and equivalent circuit (b) for one axle rolling stock

Tam też została wyprowadzona zależność dla napięcia na zaciskach wejściowych obwodu w funkcji współrzędnej „x” osi taboru.

Po pewnych modyfikacjach związanych z obciążeniem prawostronnym obwodu modulem impedancji bocznikowania **Z_b** i wynikającą stąd zależnością:

$$\mathbf{I}_k(x) = \frac{\mathbf{U}_k(x)}{\mathbf{Z}_b} \quad (2)$$

uzyskujemy wyrażenie na impedancję wejściową obwodu w funkcji współrzędnej osi pojazdu (3):

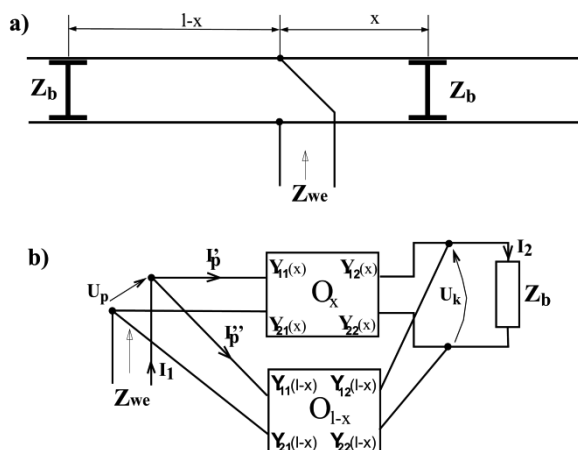
$$\mathbf{Z}_{we}(x) = \frac{\mathbf{Z}_f \cdot [\mathbf{A}(x) \cdot \mathbf{Z}_b + \mathbf{B}(x)]}{\mathbf{Z}_f \cdot [\mathbf{C}(x) \cdot \mathbf{Z}_b + \mathbf{D}(x)] + \mathbf{A}(x) \cdot \mathbf{Z}_b + \mathbf{B}(x)} \quad (3)$$

Jak będzie wstępnie kształtowała się zależność $Z_{we}(x)$, można się domyślać. W trakcie zbliżania się osi do punktu początkowego impedancja będzie malała aż do osiągnięcia Z_b . Podobny charakter wykazywały zmiany napięcia na początku obwodu w funkcji współrzędnej x , jednak szczegóły można będzie ocenić po zrealizowaniu przedstawionego programu badań symulacyjnych.

Najbardziej złożony przypadek występuje podczas przemieszczania się dwóch osi pojazdu. Ten cykl badań dla zmian napięcia wejściowego został przeanalizowany w poprzednim referacie [4].

Jakie mogą być zmiany impedancji Z_{we} , jaki będzie ich charakter, czy będzie przydatna do funkcji zliczania osi i czy wzrost częstotliwości może się przyczynić do poprawy „rozróżnialności” poszczególnych osi pojazdu – na te pytania odpowiedź powinny dać wyniki badań symulacyjnych opartych na trzecim z modeli.

Ponieważ ten przypadek jest dość złożony, zostaną przedstawione zmodyfikowane rysunki 3a i 3b oraz obszerniejsze fragmenty opisu matematycznego.



Rys. 3. Schemat poglądowy: a) zastępczy z macierzami admitancyjnymi;
b) obwodu z dwoma osiami pojazdu

Fig. 3. Schematic representation: a) replacement of admittances matrices b) of circuit
for two axle vehicle

Na podstawie schematu zastępczego z wykorzystaniem macierzy łańcuchowych do zapisu zależności dla odcinków x oraz $l-x$ można, po pewnych uproszczeniach, uzyskać schemat zastępczy zawarty na rys. 3b, wykorzystujący macierze admitancyjne dla wskazanych wcześniej fragmentów obwodu.

Podstawowy zapis matematyczny dla takiego schematu zastępczego wygląda następująco:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{I}_1(x) \\ \mathbf{I}_2(x) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{Y}_{11}(x) + \mathbf{Y}_{11}(1-x) & \mathbf{Y}_{12}(x) + \mathbf{Y}_{12}(1-x) \\ \mathbf{Y}_{21}(x) + \mathbf{Y}_{21}(1-x) & \mathbf{Y}_{22}(x) + \mathbf{Y}_{22}(1-x) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{U}_p(x) \\ \mathbf{U}_k(x) \end{bmatrix} [1] \quad (4)$$

Uwzględniając i w tej zależności macierzowej równanie (2) oraz zmienną pomocniczą „s” dającą uproszczenia macierzy admitancyjnej do postaci:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{Y}_{11}(s) & \mathbf{Y}_{12}(s) \\ \mathbf{Y}_{21}(s) & \mathbf{Y}_{22}(s) \end{bmatrix} \quad (5)$$

uzyskujemy ostatecznie model matematyczny (6) dla obwodu z dwoma przemieszczającymi się osiami pojazdu:

$$\mathbf{Z}_{we}(x) = \frac{1}{\mathbf{Y}_{11}(s) + \frac{\mathbf{Y}_{21}(s) \cdot \mathbf{Y}_{12}(s)}{\frac{1}{\mathbf{Z}_b} - \mathbf{Y}_{22}(s)}} \quad (6)$$

Wyniki badań dla tego modelu dadzą odpowiedź, czy zmiany $\mathbf{Z}_{we}(x)$ mogą mieć podobny charakter jak dla napięcia początkowego. Wpływ częstotliwości i wrażliwość obwodu na rezystancję jednostkową nawierzchni i pojemność międzytokową szyn pozostają kwestią otwartą aż do uzyskania konkretnych wyników z programu obliczeniowego.

Do symulacji przejazdu wykorzystany został hipotetyczny wagon dwuosioowy o rozstawie osi 10 m. Oczywiście, program obliczeniowy umożliwia zwiększanie bądź zmniejszanie tej odległości w sposób dowolny.

3. Badania symulacyjne wpływu częstotliwości, rezystancji podtorza i pojemności międzytokowej szyn na impedancję wejściową obwodów torowych

Na wstępie badań symulacyjnych należy zaproponować odpowiednie sekwencje doboru skrajnych wartości parametrów jednostkowej rezystancji podtorza R_p i jednostkowej pojemności międzytokowej szyn C_p , tak, aby uzyskać informację, jaka ich kombinacja zapewnia największy rozrzut krzywych uzyskiwanych na drodze badań symulacyjnych. Później będzie można zrezygnować z niektórych z nich, aby nie komplikować programów obliczeniowych i nie zagęszczać krzywych uzyskanych w trakcie obliczeń, a przez to zapewnić przejrzystość wykresów w celu wyciągnięcia odpowiednich wniosków.

W związku z tym dla pierwszego z modeli matematycznych (1) dla toru wolnego należy wykonać obliczenia dla następujących kombinacji:

- R_{pmin} , C_{pmin} – liczbowo 1000 $\Omega \cdot m$, 0,03 nF/m,
- R_{pmin} , C_{pmax} – liczbowo 1000 $\Omega \cdot m$, 0,3 nF/m,
- R_{pmax} , C_{pmin} – liczbowo 10 000 $\Omega \cdot m$, 0,03 nF/m,
- R_{pmax} , C_{pmax} – liczbowo 10 000 $\Omega \cdot m$, 0,3 nF/m.

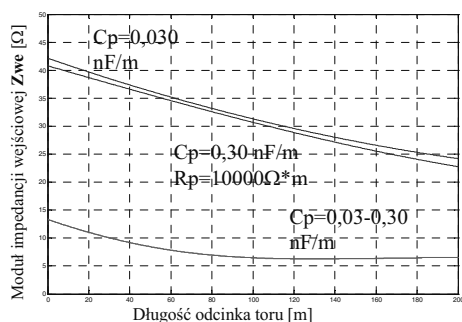
Zmiana częstotliwości musi być realizowana dla każdej grupy kombinacji, aby wykluczyć podejrzenie, że dla pewnych częstotliwości i kombinacji parametrów jednostkowych trend mógłby się zmienić, tzn. krzywe zewnętrzne wykresów mogłyby się znaleźć wewnątrz. Mogłoby to spowodować błędy w dalszych badaniach symulacyjnych i wyciągnięcie niewłaściwych wniosków ostatecznych. Dla każdej z częstotliwości należy następnie wybrać zestaw parametrów, które ograniczą zewnętrznie wszystkie uzyskane krzywe.

Według tego samego schematu należy postąpić podczas badań drugiego z modeli (3), gdyż bocznikowanie obwodu torowego może wywołać inną „wrażliwość” na zmiany rezystancji nawierzchni i pojemności toru. Być może dla proponowanych zakresów częstotliwości w punkcie 2 pozostaną to te same kombinacje R_p i C_p .

W trzecim przypadku (model (6)) należałoby sobie życzyć, aby rozrzut krzywych był minimalny dla wszystkich kombinacji. Wówczas układ licznika osi, zrealizowany na bazie obwodu wysokiej częstotliwości, miałby zapewnioną stabilną pracę (z minimalnym wpływem parametrów toru, a zatem i warunków atmosferycznych).

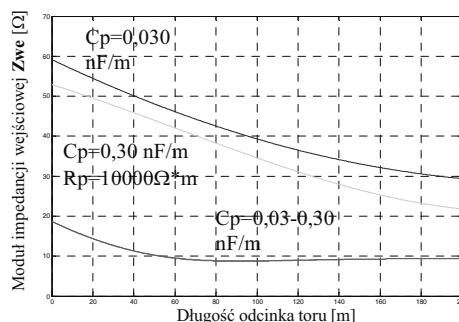
Rysunki 4-6 zawierają zestawienia krzywych będących efektem badań symulacyjnych pierwszego z modeli matematycznych dla toru wolnego. Na wszystkich trzech wykresach uzyskanych dla częstotliwości 20, 40, i 60 kHz pojawia się jedna krzywa (najniższej położona) uzyskana dla jednostkowej rezystancji podtorza $1000 \Omega \cdot m$, która jest niezależna od pojemności międzytokowej szyn (w zakresie $0,03-0,3 \text{ nF/m}$). Oczywiście, zmiana częstotliwości w górę powoduje, iż wartości Z_{we} dla odcinków toru bliskich 0 są coraz większe od 13Ω dla częstotliwości 20 kHz (rys.4) do 22Ω dla częstotliwości 60 kHz. Dziesięciokrotny wzrost (do $10\,000 \Omega \cdot m$) rezystancji jednostkowej podtorza wywołuje podniesienie i rozdzielenie krzywych stosownie do wartości pojemności międzytokowej szyn.

Niżej położone krzywe tej grupy uzyskane zostały dla wyższej pojemności jednostkowej toru $0,3 \text{ nF/m}$, a wyższe dla mniejszej, czyli $0,03 \text{ nF/m}$.



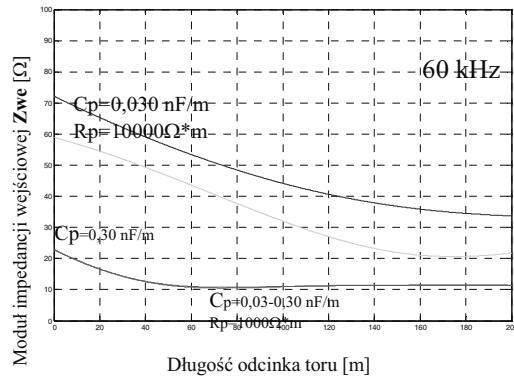
Rys. 4. Wyniki badań dla toru wolnego i częstotliwości 20 kHz

Fig. 4. Results of research for free track and the frequency 20 kHz



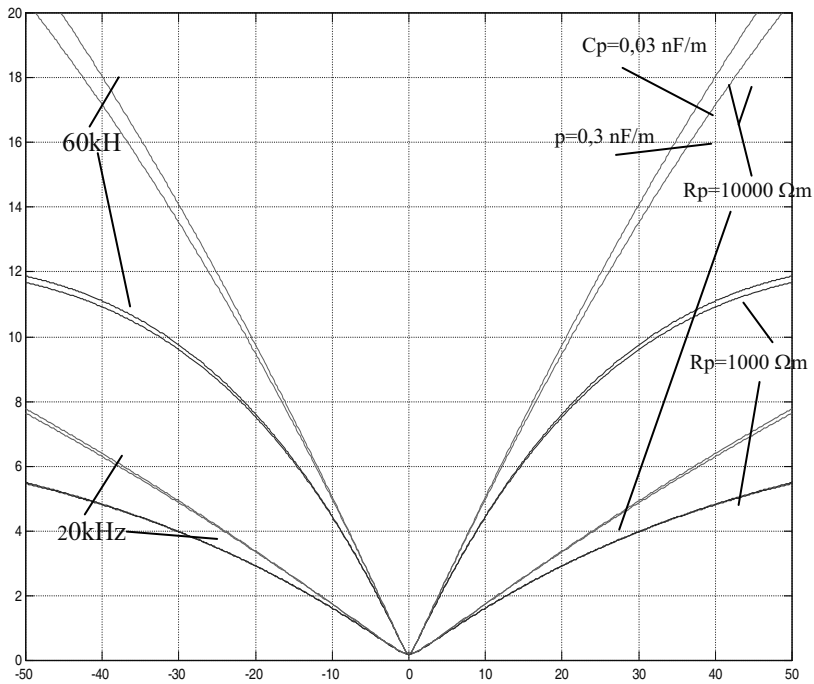
Rys. 5. Wyniki badań dla toru wolnego i częstotliwości 40 kHz

Fig. 5. Results of research for free track and the frequency 40 kHz



Rys. 6. Wyniki badań dla toru wolnego i częstotliwości 60 kHz

Fig. 6. of research for free track and the frequency 60 kHz



Rys. 7. Moduł impedancji wejściowej Z_{we} w funkcji współrzędnej jednej osi i częstotliwości 20 i 60 kHz

Fig. 7. Module input impedance Z_{we} as a function of one coordinate axis and the frequency 20 and 60 kHz

„Podniesienie w górę” jest efektem dużej rezystancji jednostkowej podtorza, a zbliżenie bądź większe oddalenie krzywych (rys. 4 i 6) jest zależne od częstotliwości, przy której przeprowadzane były badania symulacyjne. Wartości początkowe dla tych krzywych sięgają poziomów od 42Ω dla częstotliwości 20 kHz, aż do 72Ω przy częstotliwości 60 kHz.

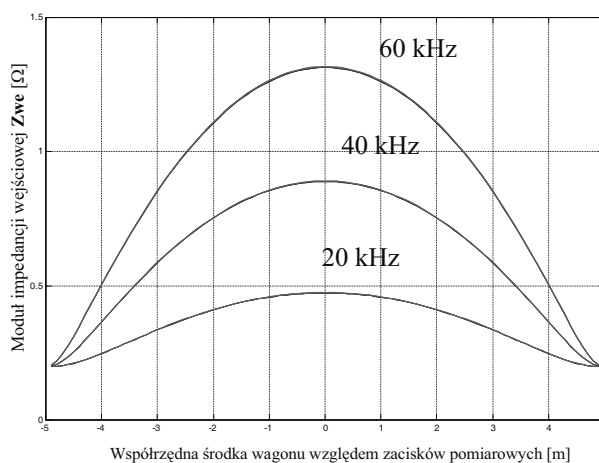
Charakter zmian impedancji wejściowej w funkcji długości odcinków dołączonego toru został zachowany taki sam jak przy badaniach napięcia początkowego [4]. Są to wykładniczo opadające krzywe w miarę wzrostu długości odcinków toru. Wartości maksymalne osiągane są dla odcinków bardzo krótkich (rys. 1).

Rysunek 7 to kolejny zbiór krzywych uzyskanych podczas symulowanego przemieszczania się jednej osi zestawu w kierunku początku układu współrzędnych. Badania wykonane zostały dla zakresów zmienności parametrów R_p i C_p , tak jak w poprzednim przypadku, i częstotliwości 20, 40 oraz 60 kHz. Na wykresie zestawiono tylko skrajne grupy krzywych, czyli dla częstotliwości 20 oraz 60 kHz ze względu na czytelność. Pary krzywych dla częstotliwości 40 kHz znajdują się pośrodku tych zaprezentowanych na rys. 7.

Kształt krzywych i ich przebieg (z minimum w punkcie o współrzędnej 0) jest podobny jak dla krzywych zamieszczonych w [4], a dotyczących zmian napięcia zasilającego obwód.

Minimum osiągane przez krzywe znajduje się na poziomie $0,2 \Omega$, gdyż taka wartość modułu impedancji bocznikującej została przyjęta w założeniach. Stromość opadania krzywych jest bardziej uzależniona od częstotliwości, a mniej od rezystancji jednostkowej podtorza.

Dla krzywych o dużej stromości opadania widoczne są ich rozdzielenia wywołane jednostkową pojemnością międzypodtorzową szyn C_p . Wyżej położone krzywe są wynikiem obciążenia odcinka torowego przez niższe pojemności ($0,03 \text{ nF/m}$). Niższe częstotliwości i niższe rezystancje R_p powodują nakładanie się krzywych dla różnych pojemności C_p (najniżej położona krzywa).



Rys. 8. Moduł impedancji wejściowej Z_{we} w funkcji współrzędnej środka wagonu dwuosowego

Fig. 8. Module input impedance Z_{we} as a function of biaxial coordinate center of the carriage

Trzecia grupa krzywych uzyskana została dla symulowanego przejazdu wagonu dwuosiowego o rozstawie osi 10 m. Jak widać na rys. 8, jako wynik badań symulacyjnych pojawiły się tylko trzy krzywe oznaczone odpowiednio 20, 40 i 60 kHz. Nie są widoczne inne, będące wynikiem zmian rezystancji jednostkowej podtorza czy jednostkowej pojemności międzytokowej szyn. Okazuje się, co zostało prześledzone podczas wykonywania cząstkowych obliczeń, że krzywe dokładnie się na siebie nakładają. Zatem wpływ R_p i C_p jest znikomy. Pozostaje tylko zależność od częstotliwości, mimo założenia stałego modułu impedancji zestawów kołowych. W tym właśnie miejscu, czyli na poziomie 0,2 Ω , rozpoczynają się i kończą krzywe.

Największą wartość Z_{we} osiąga krzywa dla częstotliwości 60 kHz. Jest to wartość około 1,3 Ω . Na niższym poziomie (0,8 Ω) znalazło się ekstremum dla częstotliwości 40 kHz i niecałe 0,5 Ω osiągnęło ekstremum krzywej dla 20 kHz.

W takim przebiegu krzywych i ich zacieraniu się dla zmiennych parametrów toru ma swój udział stabilizujące działanie zestawów kołowych. Wzrost częstotliwości przynosi kolejny pożądany efekt, tzn. wzrost wartości impedancji, gdy zestawy kołowe nie znajdują się w punkcie o współrzędnej 0.

4. Podsumowanie

W artykule zaprezentowano możliwość symulacyjnego badania impedancji wejściowej obwodu torowego zasilanego pośrodku (symetrycznie). W modelach matematycznych, a także w badaniach symulacyjnych, uwzględniono trzy przypadki: dla toru wolnego, z jedną przemieszczającą się osią oraz dwoma, które mogą reprezentować najprostszy wagon. Programy obliczeniowe utworzone w Matlabie [5] są uniwersalne i elastyczne. Umożliwiają szybkie dostosowanie do kolejnych modeli, które pojawiają się w przyszłości.

Wyniki badań potwierdzają zgodność przebiegu poszczególnych grup krzywych z tymi, które uzyskane zostały w poprzednim opracowaniu. Zatem nasuwa się wniosek, że można badać własności impedancji takich obwodów, nie wiążąc się z konkretnym wydaniem obwodu nakładanego EON czy EOC, a wyniki wykorzystać dla dowolnej częstotliwości, gdy zajdzie taka potrzeba.

Dla toru wolnego występuje silny wpływ takich parametrów jednostkowych, które bardzo zależą od warunków atmosferycznych. Należy zaliczyć do nich jednostkową rezystancję podtorza i jednostkową pojemność międzytokową szyn. O ile wpływ tego pierwszego parametru jest znany od dawna, to wpływ tego drugiego nie był dotąd szerzej analizowany. W niniejszym opracowaniu zbadano wpływ obydwu, co zostało wykonane dla częstotliwości przekraczających 20 kHz.

Najważniejsze osiągnięcie z punktu widzenia potencjalnej przydatności obwodów wyższej częstotliwości w układach liczników osi dotyczy braku niekorzystnego wpływu rezystancji jednostkowej podtorza i jednostkowej pojemności toków szynowych na przebieg krzywych oddziaływania. Jest to akcent bardzo pozytywny i wynika ze stabilizującego działania zestawów kołowych.

Drugi wniosek z tej części badań to korzystny wpływ wyższych częstotliwości sygnałów zasilających tego typu obwody. Dla układów pomiarowych zliczania osi nie jest bez znaczenia, czy maksymalna wartość impedancji osiąga 0,5 czy 1,5 Ω . Ta druga wartość

pozwole skuteczniej odseparować się od szumów i zakłóceń występujących w torze. Ten pozytywny akcent obowiązuje także dla zestawów kołowych znajdujących się bliżej siebie.

W przyszłości badania powinny objąć zakres jeszcze wyższych częstotliwości, mniejszych rozstawów osi i wpływu zmiennej wraz z częstotliwością impedancji zestawów kołowych.

Literatura

- [1] B o l k o w s k i S., *Teoria obwodów elektrycznych*, WNT, Warszawa 1995.
- [2] D ą b r o w a - B a j o n M., K a r b o w i a k H., *Parametry elektryczne izolowanego odcinka torowego zasilanego prądami o częstotliwościach w zakresie 50-2000 Hz*, Prace Instytutu Transportu PW nr 3, Warszawa 1973.
- [3] J a k u b a s W., *Badania symulacyjne oddziaływania osi taboru kolejowego na elektroniczne obwody torowe*, Czasopismo Techniczne z 1-E/2007, zeszyt 5 (104), Wyd. Politechniki Krakowskiej, Kraków 2007.
- [4] J a k u b a s W., *Badania symulacyjne oddziaływania osi taboru kolejowego na elektroniczne obwody torowe*, XII Ogólnopolska Konferencja Trakcji Elektrycznej i VI Szkoła Kompatybilności Elektromagnetycznej w Transporcie, Zakopane 2006.
- [5] Z a l e w s k i A., C e g i e ł a R., *Matlab – obliczenia numeryczne i ich zastosowania*, Wydawnictwo Nakom, Poznań 1996.
- [6] A d r a n z Z W U S, *Dokumentacja techniczno ruchowa, DTR-90/EOC-1*, Katowice 2000.