

multiple vehicles in feeder zone. This model is an evolution and simplification of models represented earlier [1]. The results of the work have been used during tests of new types of trains [2].

A mathematical and computer model of traction current harmonic distribution in traction network with multiple vehicles in feeder zone has been established. The traction network was represented as series-connected multipoles, corresponded to longitudinally uniform network areas which are modeled with MTL equations. The model has been simplified as follows. The lines with equal or close to each other potentials are represented as a single line with equivalent electrical parameters. The disturbing vehicles are modeled as sinusoidal current sources with several set of frequencies that are represented by current vector. Only return current harmonics with frequencies that lie in frequency range of track circuit receiver were considered.

The distribution of the traction return current harmonics was computed for direct feeding traction network 1x25 kV AC electric railway system with two-side ESS and with 1 to 5 vehicles in feeder zone.

The maximum interference from trains is in the areas nearest to trains and near the point of connection of return feeder to rails (at ESS terminals). The traction harmonic current in rails are increased with increasing of train number in feeder zone and with decreasing of the rail-to-earth conductivity. The interference at 25 Hz in the rails area near the ESS for one locomotive in feeder zone don't exceed a limit value of 1 A even in unfavorable operation conditions for the rail-to-earth conductivity equal 0.02 Sm/km. If number of trains are increased (from 1 to 5) the interference at 25 Hz also increased and it values exceed the limit current of the interference in rails at 25 Hz.

Meleshko V. V. (Ukrzaliznytsia),

Havryliuk V. I., doct. of phys. and math. sciences, professor (DNURT named after Academician V. Lazaryan)

UDC 621.317

DETERMINATION OF TRACTION CURRENT HARMONICS PARAMETERS BY FFT

У роботі дано короткий огляд положень щодо коректного вибору параметрів віконного БПФ для забезпечення необхідної часової і частотної роздільної здатності спектрального аналізу тягового струму відповідно до вимог нормативних документів і проведені дослідження впливу параметрів БПФ на точність визначення основних параметрів гармонік в спектрі струму (ефективного значення струму, частоти, тривалості). Для оцінки точності визначення ефективного значення струму і частоти гармоніки було проведено комп'ютерне дослідження з використанням синтезованого струму з відомими

параметрами гармонік, значення яких були обрані відповідно до допустимих значень параметрів, визначених нормативними документами та стандартами.

Keywords: *traction current harmonics, fast Fourier transform, electromagnetic compatibility.*

The problem of electromagnetic compatibility (EMC) between railway subsystems has attracted the attention of scientists in recent years due to the wide spread of high-speed railways. The one of the main sources of the electromagnetic interference (EMI) in electrified railways is the rolling stock and the traction system as a whole. New types of rolling stock must be tested on EMC with railway signaling before they are accepted for operation. In addition, monitoring of electromagnetic interference in signal circuits should be periodically performed in accordance with the maintenance plan. The maximum permissible values of electromagnetic interference from electrical equipment of rolling stock are given in standards and regulations.

The values of the traction current harmonics, which can cause fails in the operation of rail-way signaling systems, can be determined by passing of a measured signal proportional to the traction current through special banks of selective filters with frequencies corresponding to the frequencies of the signaling currents, as well as by spectral analysis of the signal using the Fourier transform. Since traction current is non-stationary, the Short-Time Fourier transform (STFT) is used for its spectral analysis.

But the STFT spectral analyzing techniques have some constraints. One limitation is due to the uncertainty principle, which postulates that the product of time and frequency resolutions cannot be less than a certain limit.

Another constraint of STFT is related to the side-lobe levels of the window in the frequency domain, which leads to a decrease in the measured values of the RMS current of the harmonics and in some cases can even to hide the weak harmonics against the background of strong harmonics. To improve the accuracy of the spectral analysis of the traction current, it is necessary to correctly choose the parameters of the windowed FFT.

In the work the correct choosing of the windowed FFT parameters to achieve the necessary time and frequency resolution of the traction current spectral analysis in accordance with the requirements of regulatory documents has been briefly overviewed and investigations of the influence of FFT parameters on the accuracy of the determination of harmonics parameters (such as effective current, frequency, duration) have been carried out.

To assess the accuracy of determining the RMS current and frequency of the harmonics, a computer study was performed using a synthesized current with known harmonics parameters, the values of which were chosen in accordance with the permissible values of the parameters determined by regulatory documents and standards.

Dynamic range of the traction current harmonics is defined as ratio of the main harmonic level (for AC TC it is 50 Hz harmonic) to the level of the weakest harmonic. As a result, the dynamic range for AC TC with RMS current 200 A is 46 dB for frequency band 21-29 Hz, 55 dB for frequency bands 408-432, 468-492, 568-592, 708-732, 768-792 Hz, and 60 dB for frequency bands 4462-4538, 4962-5038, 5462-5538 Hz. It is obvious that the dynamic range of harmonics in these frequency bands reaches higher values when the traction current gets higher values.

The obtained values of the dynamic range have sufficiently high values, and they should be taken into account when selecting the window type.

The requirement that the duration of the harmonics defined by the standard cannot exceed 0.3 s, together with the restriction on the values of the frequency and time resolutions, should also be taken into account when selecting the window type, especially in the frequency range from 19 Hz to 58 Hz, which contains very closely spaced harmonics, which are specified by the standard.

For the spectral analysis of traction current, four types of windows were selected: rectangular, Hann, Hamming and Blackman windows with duration of 0.3 and 1 s. For a sampling frequency of 27500 Hz and a window length of 0.3 s, the frequency resolution is 0.27 Hz for a rectangular window, 0.54 Hz for Hann and Hamming windows and 0.81 Hz for Blackman's window, which is consistent with the requirements of the specifications.

The results of spectral analysis of traction current showed that the frequency resolution of harmonics, and accordingly the relative error in determination the frequency and the RMS value of harmonics is lower for high frequencies in spectrum.

The type of windows used has a slight effect on the accuracy of determining the frequency of harmonics. The relative error of the effective value of the harmonic current was higher for a rectangular window, and relative error decreased in the row from the rectangular window to the Blackman window. The values of the relative error of the RMS current for several frequencies of the harmonics did not meet the requirements necessary for the practical use of the method, and this is due to spectrum leakage and scalloping.

For windows with a length of 1 s, the frequency resolution of the traction current was higher. than for windows with a length of 0.3 s, and the relative error of the RMS current and frequencies of the harmonics were much lower, but even in this case, the relative error was high for individual frequencies.

Since traction current has a wide frequency range, a method using variable window length and sampling frequency for different frequency bands of the spectrum is perspective for using.

*Шандер Ю. В., інженер,
Божок О. М., Рудюк Л. С., Черненко С. В.,
магістранти (УкрДУЗТ)*

УДК 656.027

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ НА МЕРЕЖІ ЗАЛІЗНИЦЬ УКРАЇНИ В УМОВАХ ІНТЕГРАЦІЇ ДО ЄС

В умовах інтеграція України до ЄС важливим є необхідність формування єдиних стандартів організації залізничних пасажирських перевезень, а саме впровадження швидкісного пасажирського руху між основними містами з найбільшими пасажиропотоками. Дуже вигідне географічне положення нашої держави служить основою для збільшення пасажиропотоків у напрямку Європа-Азія. Якщо врахувати, що через нашу країну проходить декілька важливих міжнародних транспортних коридорів, то відповідні умови надають можливість підвищити конкурентоспроможність залізничного транспорту. Мережа маршрутів швидкісних поїздів в Україні має дуже широкий спектр. Наразі об'єднано Київ з найбільшими промисловими та культурними центрами України. Тому важливим кроком подальшого розвитку є впровадження швидкісного руху на всій мережі залізниць та з'єднання швидкісних ліній між Азією та Європою.

Виходячи з цього, основною задачею є формування пропозиція щодо впровадження швидкісного руху на мережі залізниць України, з урахуванням світового досвіду та сучасних умов функціонування залізничного транспорту. Визначення напрямків високошвидкісних магістралей, а також порядок впровадження швидкісного руху на них повинно здійснюватися з урахуванням: витрат на будівництво мережі високошвидкісних ліній; розвитку туристичних напрямків; недопущення транспортного роз'єднання основних міст і погіршення транспортного сполучення з іншими сусідніми країнами; можливості і доцільності функціонування денних поїздів на мережі України. Тобто повинна вирішуватися задача мінімізації витрат на будівництво та часу доставки пасажирів між основними містами. Впровадження високошвидкісних магістралей в країні буде вигідним не тільки Україні, але і Європі, та буде потужним імпульсом для розвитку нашої країни.

Список використаних джерел

1. Шандер, О. Е. Удосконалення процесу організації пасажирських швидкісних перевезень в умовах пересадок [Текст] / О.Е. Шандер, А.М. Леміш // Збірник наукових праць УкрДУЗТ, 2017. – Вип. 173. – С. 176-183.