Механика Транспорт Комуникации

Научно списание

ISSN 1312-3823

том 12, брой 1, 2014 г.

статия № 0929

http://www.mtc-aj.com

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЕНЕРГЕТИЧНИТЕ ПАРАМЕТРИ НА МОДЕРНИЗИРАН ТИРИСТОРЕН ЛОКОМОТИВ СЕРИЯ 46-200

Георги Павлов, Мартина Томчева, Илко Търпов
g_pavlov61@abv.bg

ВТУ „Тодор Каблешков“ – София,
ул. Гео Милев“ 158, София 1574
БЪЛГАРИЯ

Ключови думи: *енергетични параметри, коефициент на мощност, електрически локомотиви с тиристорни изправители, активни компенсатори за реактивна мощност*

Резюме: *Ниските стойности на енергетичните показатели на експлоатираните диодни и тиристорни електрически транспортни средства (ЕТС) в железопътния транспорт у нас (над 96 %) създават условия за повишено потребление на реактивна мощност и деформация на формата на захранващия ток. Вследствие на това тяговата мрежа и електрообзавеждането на локомотива се натоварват допълнително с реактивни токове, което води до увеличаване на тяговия разход на електроенергия. В статията са показани част от направените енергетични изследвания на модернизираните тиристорни локомотиви от серия 46-200. Направен е анализ на резултатите и са коментирани възможностите за повишаване на енергийната им ефективност. Основната цел е създаване на методика за цялостно изследване на енергийното поведение на експлоатираните в жп транспорт ЕТС. Това ще даде възможност за осъществяване на адекватен енергиен анализ и категоризиране на ЕТС по отношение на определени параметри, характеризиращи качеството на консумираната от тях електроенергия, както и предложение за тяхната модернизация.*

ВЪВЕДЕНИЕ В ПРОБЛЕМА

В железопътния транспорт у нас основно се експлоатират мощни локомотиви с колекторни двигатели и различни по тип пуско-регулиращи устройства (ПРУ). Общият им недостатък е ниският коефициент на мощност (K_M), който е един от основните показатели на всеки потребител на електрическа енергия. Той показва ефективността на преобразуването на постъпващата от източника енергия. Ниските стойности на този показател не са желателни, те означават увеличен разход на реактивна енергия, деформация на формата на захранващото напрежение и тягов ток и съпътстващите проблеми с това.

При синусоидален ток и напрежение $K_M = \cos\varphi$, където φ е фазовият ъгъл между тока и напрежението. При несинусоидален ток $K_M = \nu.\cos\varphi_{(1)}$, където $\varphi_{(1)}$ е

ъгълът между първия хармоник на тока и напрежението, а υ е коефициент на изкривяване, отразяващ несинусоидалността на тока. Коефициентът на мощност при несинусоидални ток и напрежение се дефинира с формулите:

(1) $$k_м = \frac{P_{(1)}}{S} = \frac{U_{(1)}.I_{(1)}.\cos\varphi_{(1)}}{U.I}$$, когато $U_{(1)} \approx U$, то $$k_м = \frac{U..I_{(1)}.\cos\varphi_{(1)}}{U.I} = \nu.\cos\varphi_{(1)},$$

където $P_{(1)}$ е активната мощност, пренасяна от основния хармоник, W; $U_{(1)}$, $I_{(1)}$, $cos\ \varphi_{(1)}$ са съответно ефективните стойности на напрежението и тока на 1-ви хармоник и ъгълът на дефазиране между тях; U, I – ефективни стойности на тока и напрежението; ν – коефициент на несинусоидалност на тока – $\nu = I_{(1)} / I$; S – привидна мощност, VA.

Друг съществен показател е THD_I, % (общи хармонични изкривявания) на тяговия ток. Той характеризира деформацията на кривата на тока и наличието на висши хармоници в процентно отношение от ефективната стойност на първия хармоник на тока $I_{(1)}$. Показаният израз (2) дава връзката между показателя THD_I% и коефициента на несинусоидалност ν [1]:

(2) $$\nu = \frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{THD_I\%}{100}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{\sqrt{\sum_{i=2}^{\infty} I_{(i)}^2}}{I_{(1)}}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{I^2}{I_{(1)}^2}}} = \frac{I_{(1)}}{I}$$

Основният проблем на всички ЕТС с постояннотоково електрозадвижване, захранвани от променливотокова мрежа, независимо от вида на използваните ПРУ, са ниските енергетични показатели. Увеличеното потребление на реактивна мощност и влошената форма на тяговия ток водят до занижаване на стойностите на K_M. Всичко това е свързано с формиране на допълнителни загуби в тяговата електроснабдителна система (ТЕС), а оттам и до намаляване на ефективността ѝ.

Известно е, че паркът на железопътния транспорт у нас е морално и физически остарял. Необходимо е спешно обновяване на част от парка на ЕТС, както и модернизация на определени транспортни средства чрез използване на съвременни IGBT технологии. Преди няколко години в завода „KONČAR - ELEKTRIČNE LOKOMOTIVE" d.d. Zagreb в Хърватия поетапно бяха модернизирани 21 локомотива от парка на БДЖ – 2 от серия 44 и 19 от серия 46 (означения след модернизацията 44-001 и 44-002, и сер. 46-200) на базата на тиристорни изправители с естествена комутация и двузоново регулиране на напрежението. От енергетична гледна точка това техническо решение не е най-удачно и води до значително влошаване на качествените показатели на енергийно потребление.

В статията са представени част от резултатите от проведени експериментални измервания на определени състави с тиристорни токоизправители в реални експлоатационни условия. Измерени и анализирани са специфичните показатели, определящи качеството на консумираната и върната от тях енергия. Измерени са стойностите на тяговия ток и захранващо напрежение, активна, реактивна и пълна мощност, консумирана и върната от състава. На базата на това са определени коефициентите υ и THD%, PF и cosφ и обобщаващият показател K_M.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЕНЕРГЕТИЧНИ ПАРАМЕТРИ НА МОДЕРНИЗИРАН ЛОКОМОТИВ СЕРИЯ 46-200

С цел изследване и анализ на енергетичните параметри на модернизираните ЕТС от парка на БДЖ бяха проведени експериментални измервания на влакови състави, теглени от локомотиви серия 46-200 в предварително избрани за целта тягови

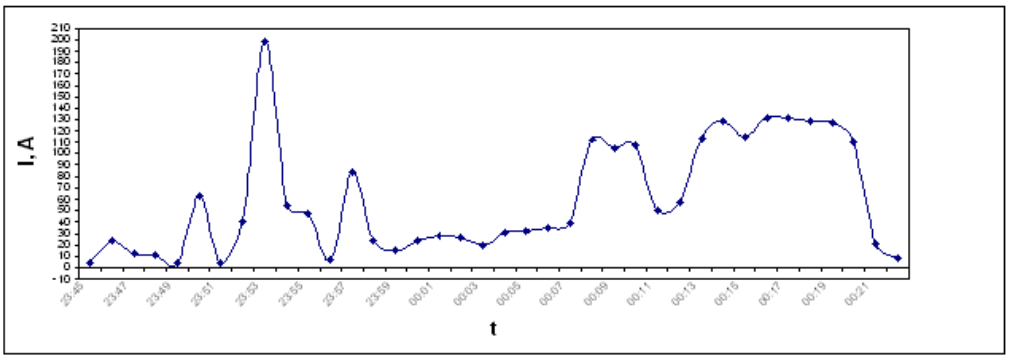
подстанции и захранващи фидери. Настоящите измервания са направени в самия локомотив с прецизна микропроцесорна измервателна апаратура – мрежов анализатор тип UMG 604E. Използваните анализатори измерват моментните стойности на напрежението и тока и въз основа на тях изчисляват техните ефективните стойности, електрическата мощност (активна, реактивна и привидна), фактора на мощност и се извършва хармоничен анализ на кривите на тяговия ток и напрежение в контактната мрежа [2].

Изследването на енергийните показатели е проведено на електрически локомотив 46-242 в участъка София-Вакарел. Локомотивът обслужва влак № 13143 и е в състав от 7 вагона с брутна маса от 270 тона.

Записът на данните е направен с анализатор на качеството на електроенергията UMG604 на фирма JANITZA elektrik. Уредът позволява да се направи измерване и анализ на хармоничните съставящи по реда на Фурие до 40 номер. За нуждите на измерването са използвани токовият и напреженовият измервателни трансформатори на входа на локомотива, веднага след пантографа. По този начин се отчита цялостното влияние на тяговия електрически подвижен състав (ТЕПС) върху контактната мрежа (КМ) при реализиране на тяговия процес. Токовия измервателен трансформатор е с преводно отношение 500/5 А, $U_н$ -30 kV и $I_н$ -400 А.

Получената информация от анализатора е обработена със софтуер Gridvis. Програмата осреднява и запаметява получените резултати, като най-малкият интеграционен интервал е 60 секунди. Имайки предвид динамиката на процесите при експлоатация, се наложи да се направят измервания в реално време, за да се получат по-прецизни резултати за стойностите на електрическите показатели за качеството на енергията [3, 4].

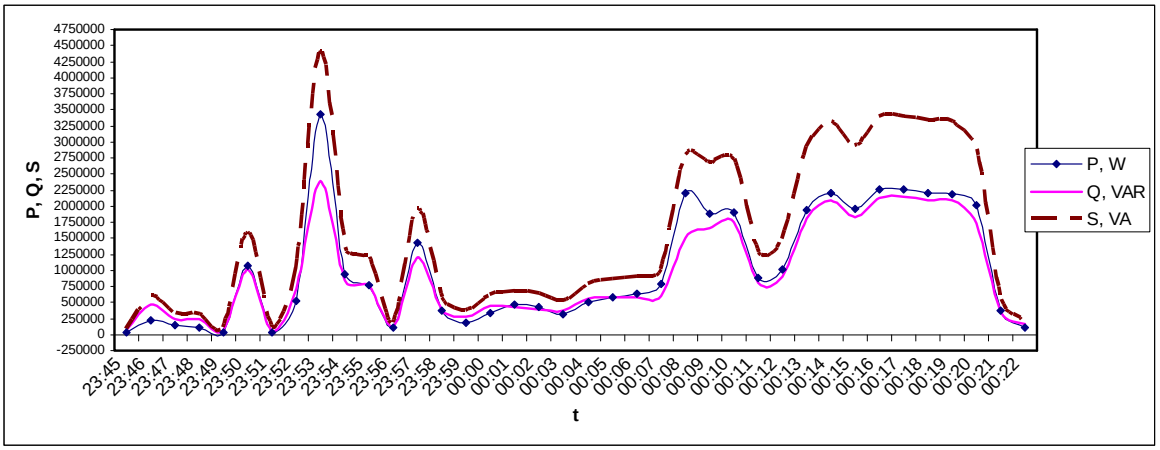
На фиг. 1 е показано графичното изменение на тяговия ток на състава в изследвания участък. В избрания участък ТЕПС реализира всички възможни режими на движение (ускорение, движение с установена скорост, както и електродинамично спиране), необходими за цялостното енергетично изследване. Под графиката на тока е дадена информация за изследвания участък, допустимите скорости на движение, междугарови разстояния и времепътуване.



София	Подуяне	Искър	Казичене	Елин Пелин	Побит камък	Вакарел
доп. V, km/h	75	100	80	80	100	65	
S, km	3,4	6,1	4,9	9,5	6,1	9,3	ΣS Сф - Вк = 39,3 km
време-пътуване t в мин	7	5	5	9	6	9	

Фиг. 1. Изменение на тяговия ток на състава

На фиг. 2 е показано изменението на консумираните мощности от състава (активна, реактивна и пълна). Реактивната мощност има индуктивен характер и в по-голямата част от изследвания участък на движение е съизмерима с активната. Изключение прави участъка от 23.51 до 23.57 от гара Подуяне до гара Искър, в който локомотивът ускорява динамично и достига ток 200 А, като излиза на естествена характеристика. В този интервал Q е много по-малка по стойност от Р. Изводът, който може да се направи е, че при реализиране на по-големи мощности енергетичното поведение на състава е по-добро. Разбира се в нормални експлоатационни условия поддържането на такъв режим е трудна и невъзможна задача.

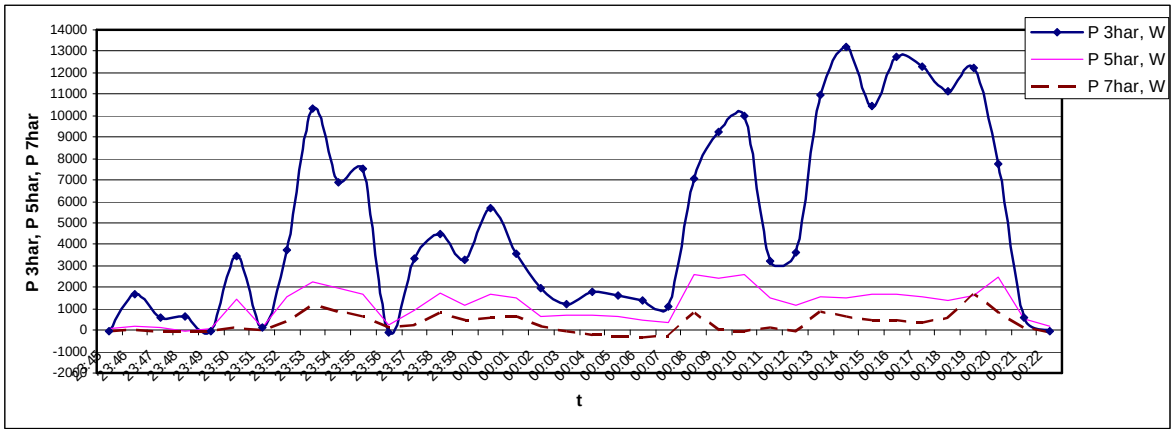


Фиг. 2. Изменение на активна, реактивна и пълна мощности

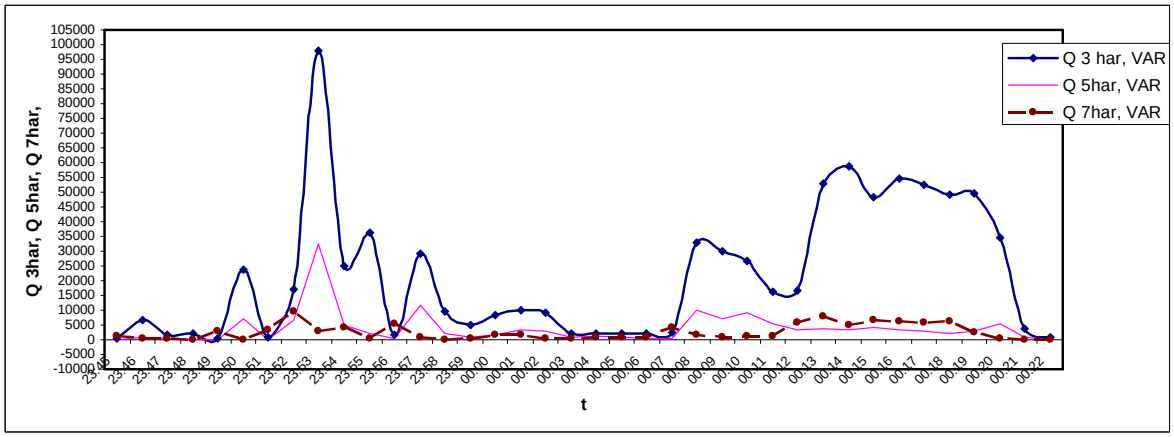
От графичното изменение на фактора на мощност (cosφ) и показателят THD_I на фиг. 3 се вижда се, че както при модернизираните ЕЛ 44-000 и тук средната стойност на cosφ е около 0,6, която е значително по-ниска от минимално изискваната 0,9. Причината за това е голямата консумация на реактивна мощност от ЕТС. Показателят THD_I в по-голямата част от изследвания участък се колебае около 40÷50%, което предполага наличие на висши хармоници от нисък порядък.

Фиг. 3. Фактор на мощност (PF) и THD_I

На фигури 4 а,б са показани активната и реактивната мощност на хармониците от нисък порядък (3,5,7), оказващи най-съществено влияние върху деформацията на кривата на тяговия ток. В процентно отношение 3 хармоник на тока е доминиращ и представлява близо 30% от ефективната стойност на товарния ток.



Фиг. 3,а. Активна мощност на 3, 5 и 7 хармоник



Фиг. 3.,б. Реактивна мощност на 3, 5 и 7 хармоник

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведените подробни измервания за качеството на електропотребление при модернизиран електрически локомотив от серията 46-200 показват незадоволителни резултати по-отношение на техните енергетични параметри. В реални експлоатационни условия факторът на мощност PF_{el} се колебае в границите 0,6÷0,8 и е значително по-нисък от дефинираните европейски норми в това отношение. От показаните графики се вижда, че при различните режими на движение консумираната от локомотива реактивна мощност е значителна по стойност, което е и основната причина за влошения коефициент на мощност. В кривата на тяговия ток преобладават хармонични съставящи от нисък порядък, представляващи значителен процент от ефективната стойност на тяговия ток.

Модернизацията на тиристорните локомотиви, експлоатирани в жп транспорт у нас, е задължителна, от гледна точка на предстоящото въвеждане на европейски норми и изисквания по-отношение на качеството на електрическа енергия, потребявана от ЕТС. Вариантите в това отношение са два - премахване на тиристорните изправители и вграждане на четириквадрантни преобразуватели, реализирани на базата на IGBT. В този случай се постигат идеални енергетични характеристики в целия регулируем диапазон и възможност за реализация на рекуперация. Недостатък – икономически неизгоден. Вторият вариант е свързан с възможността за проектиране и вграждане в ЕТС на активен компенсатор на реактивна енергия, който изисква значително по-малко средства и е по-безпроблемен за изпълнение. Изследванията показват, че постигнатите показатели напълно ще покрият изискванията в това отношение.

ЛИТЕРАТУРА
[1] W. Mack Grady, R. J. Gilleskie, Harmonics and How They Relate to Power Factor, Proc. Of the EPRI Power Quality Issues & Opportunities Conference (PQA '93), San Diego, CA, November 1993.
[2] Павлов Г., Г. Димитров. Изследване на енергетични показатели и възможности за модернизация на електрически транспортни средства за променлив ток. Научна конференция 2012 – Русенски университет „Ангел Кънчев", гр. Русе, 26 – 27.10.2012 г.
[3] Dimitrov V., Examination of Frequency Controlled Asynchronous Drives at Variable Load Torque – Laboratory Simulator, XLVII International Scientific Conference on Information, Communication and Energy Systems and Technologies ICEST 2012, 28-30 June, 2012, Veliko Tarnovo, Bulgaria, Proceedings of Papers, Vol. 2, ISBN: 978-619-167-003-1, pp. 567-570
[4] Димитров В., Изследване на преходни режими при асинхронни задвижвания с честотно управление – лабораторен симулатор, IV-та научна конференция „ЕФ 2012", Созопол, 28.09 – 01.10.2012, Сборник научни трудове, том 2, стр. 265 - 271

EXPERIMENTAL STUDY OF THE ENERGETIC PARAMETERS OF MODERNIZED THYRISTOR LOCOMOTIVES 46-200 SERIES

Georgi Pavlov, Martina Tomcheva, Ilko Tarpov
g_pavlov61@abv.bg

Todor Kableshkov University of Transport – Sofia
158 Geo Milev Str., Sofia 1574,
BULGARIA

Key words: *energetic parameters, power factor, electrical locomotives with thyristor rectifiers, active compensators of reactive energy*

Abstract*: The low values of the energetic parameters of diode and thyristor electric vehicles operated in railways (over 96%) create conditions for increased consumption of reactive power and distortion of the waveform of the mains current. Consequently, the traction power system and locomotives electrical equipment are loaded with additional reactive current, which leads to an increased traction power consumption. In this article, proportion of energetic tests of modernized thyristor locomotives 46-200 series is shown. An analysis of the obtained results is made and opportunities for improving energy efficiency are discussed. The main purpose is to establish a methodology for a comprehensive study of the energy performance of electric vehicles operated in Railway Transport. This will give the opportunity for carrying out adequate energy analysis and categorization of the electric vehicles on certain parameters characterizing the quality of consumed energy, as well as a proposal for their modernization.*