

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА ТЕХНИЧЕСКИТЕ ПОКАЗАТЕЛИ НА СИЛОВИЯ ИЗПРАВИТЕЛЕН БЛОК НА ЛОКОМОТИВ СЕРИЯ 61-00

Иван Петров
ivanpetrov60@abv.bg

**ВТУ “Тодор Каблешков”
София, 1574, ул. “Гео Милев” 158,
БЪЛГАРИЯ**

Ключови думи: транспорт, локомотиви, енергетика, електроснабдяване и др.

Резюме: Докладът разглежда техническите характеристики на силовия изправителен блок на електрически маневрен локомотив серия 61-00. Целта на това изследване е експериментално определяне режимите на работа на силовия изправителен блок. Изследването е направено при движение на влак 50231 на 11.01.2018 г. София-Дупница и Дупница-София с влак 50232, обслужван от локомотиви серия 61-012 и 61-011. По време на движение на влака е направен динамичен цифров запис на тяговия ток и напрежение с мултифункционалния уред Fluke 430 Series. Извършен е хармоничен анализ на напрежението и тока в една фаза, сканирайки с честота 4 kHz, прилагайки изчислителен алгоритъм – бързо преобразуване на Фурие.

Допълнително са проведени измервания на температурата на прегряване в силовите елементи. Температурата на прегряване е определена с 30-канален температурен записващ апарат тип: 3088 hybrid recorder. Използвани са за целта на изследването термодвойки от тип “J” (желязо-константан). Честотата на сканиране на уреда е 0.5s/канал.

Също така е определен контактният натиск на силовия модул на тиристорите и диодите включени в изправителния блок. Направени са анализи и технически препоръки за намаляване на предпоставките за повреди силовия блок на изправителя.

ВЪВЕДЕНИЕ

Локомотив серия 61-00 е маневрен електрически локомотив, предназначен за електрифициран железен път - 27.5KV, 50Hz. Тяговите двигатели са за постоянен (пулсиращ) ток с независимо възбуждане. Котвените намотки на двигателите са свързани последователно и са с плавно изменение на напрежение. Регулирането на напрежението се осъществява чрез използването на две допълнителни намотки на трансформатора и чрез изменение ъгъла на отпушване на тиристорните модули.

Възбудителните намотки на тяговите двигатели има собствен тиристорен регулатор, който плавно регулира тока на възбуждането и позволява смяна на посоката на движение.

При плавно регулиране напрежението на котвите намотки и плавно регулиране на тока на възбуждане осигуряват движение на локомотива в интервала 0-30 km/h, в режим на пълен магнитен поток. Скоростите от 30 до 80 km/h се достигат чрез различна степен на отслабване на магнитния поток.

С натрупване на пробег на локомотива, особено след включването им в пътническо движение, маневрените локомотиви серия 61.00 започнаха да увеличават своите откази. Те са предимно в механичната част (предавателния механизъм на двигателя) и в силовия блок на изправителя. Това прави все по-актуален проблема за причините на отказите и повишаване надеждността на системите за управление на локомотива.

СЪЩИНСКА ЧАСТ

Целта на експерименталното изследване е определяне режимите на работа в силовия изправителен блок при динамично натоварване. Това включва определяне на изменението на тяговия ток и напрежение на изправителя, определяне на температурата на прегряване на силовите елементи, а така също и определяне на контактния натиск на силовия модул. Последните два не са предмет на днешният доклад. Технически данни за локомотив серия 61.00 са показани на таблица 1:

Таблица 1

Захранваща контактна система	25 kV, 50 Hz
Трайна мощност по окръжността на търкаляне на колелата:	960 kW
Максимална теглителна сила:	212,9 kN (ограничена по сцепление)
Трайна теглителна сила:	122,1 kN (до 27,1 km/h)
Диаметър на колелата, нови/износени:	1050/974 mm
Брой и тип тягови двигатели:	4 бр., постоянно-токови с независимо възбуждане
Тягови двигатели, модел и мощност:	ЉKD TE 009, 240 kW
Мощност и захранващо напрежение на влаковото отопление:	300 kVA; 1,5 kV 50 Hz
Система за управление:	Љkoda
Максимална скорост	80km/h;

Силовия изправителен блок [1] е конструиран с използване на силови полупроводникови вентили таблетъчен тип. Всеки един от изправителните блокове за захранване на котвените намотки е изграден от тиристори тип TV 978-1000/24 NDO и диоди тип DV878-1600/24. Охлаждането на полупроводниковите елементи в токоизправителите е маслено, с принудителна циркулация на маслото. Най-често по време на експлоатация възникват откази в токоизправителите на котвените намотки. Разположение на диодите в токоизправителя на котвените намотки е показано на фиг. 1.



Фиг. 1 Разположение на диодите в токоизправителя на котвените намотки

Технически параметри на тиристори тип TV 978-1000/24 NDO са следните.

Електрически параметри:

$$U_{dc} (U_{RRM}, U_{CEO}, U_{max}) 2200 \text{ V}$$

du/dt (крит. скорост на нарастване на напрежение) 1000 V/ μ s

$$I_{dc \text{ max}} (T_c/T_a = 25 \div 160^\circ\text{C}) 1290 \text{ A}$$

$$I_{dc \text{ max}} (T_c/T_a = 70 \div 79^\circ\text{C}) 1290 \text{ A}$$

di/dt (крит. скорост на нарастване на тока) 50 A/ μ s

t_f (време за изключване) 800000 ns

Топлинни и механични параметри:

T_{min} (минимална работна температура) -40°C

T_{max} (максимална работна температура) 125°C

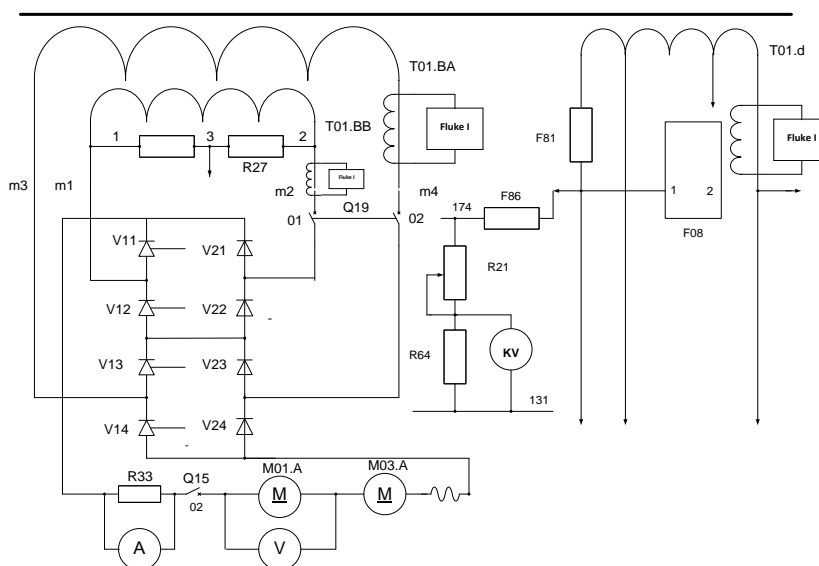
R_{th-c} (топлинно съпротивление преход-корпус) $0,016^\circ\text{C/W}$

F_{min} : 30000 N

F_{max} : 30000 N

Измерването в експлоатационен режим бе реализирано при движение на пътнически влак с локомотиви серия 61-012 (61-011) на 27.01.2018 г. (11.01.2018 г.) с влак КПВ 50231 (маса на влака е 200 t) в участъка София-Дупница и Дупница – София с влак КПВ 50232. На силовата схема на фиг. 1 са показани измервателните токови и напреженови трансформатори. Проведените измервания са направени с многофункционален прибор Fluke 430 Series, който извършва и хармоничен анализ на напрежението и тока в една фаза, сканирайки с честота 4 kHz, прилагайки изчислителен алгоритъм – бързо преобразуване на Фурие. Уреда дава стойностите на хармоничния състав в % спрямо основния хармоник (50 Hz) до номер 50. Той прави запис в цифров вид на кривите на тока и напрежението с честота на сканиране 2,5 Hz, което обуславя голяма точност (<0.5%).

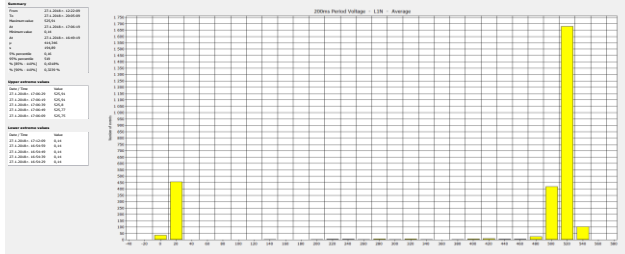
Измерването на напрежението на входа на изправителя (фиг. 2) е направено във вторичната намотка T01.BB, захранващ изправителя V11 – V22, а измерването на ток и напрежение във втория изправител V13 – V24 е направено във веригата на втората вторична намотка на трансформатора T01.BA.



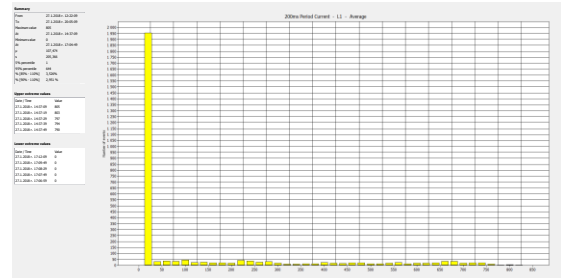
Фиг. 2 Силова схема на локомотив серия 61-00 с измервателните апарати

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ РЕЗУЛТАТИ

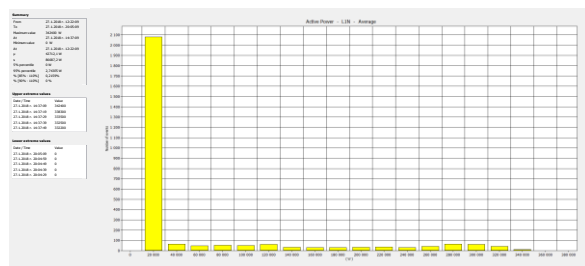
От проведеното изследване получените резултати са показани в графичен вид на фиг. 3 до фиг. 11. От първоначалният анализ се вижда, че максималното достигнато напрежение във вторичната намотка е 525 V, при напрежение в контактната мрежа 25,500 KV, а максималната стойност на товарния ток е 838 A.



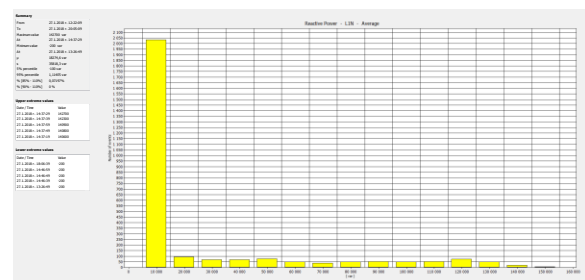
Фиг. 3 Изменение на напрежение на входа на изправителя



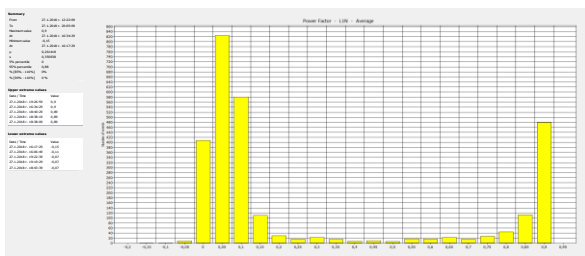
Фиг. 4 Изменение на ток на изправителя



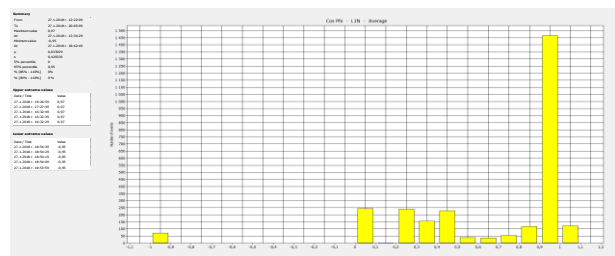
Фиг. 5 Изменение на активна мощност на изправителя



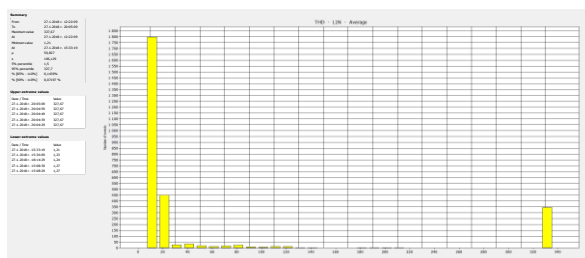
Фиг. 6 Реактивна мощност на изправителя



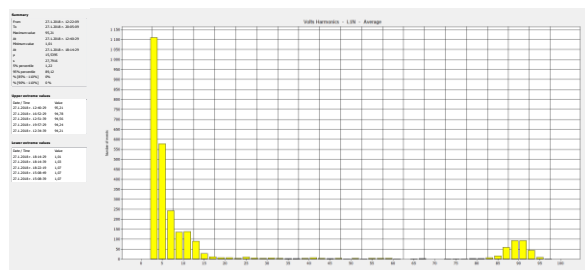
Фиг. 7 Изменение на фактора на мощност



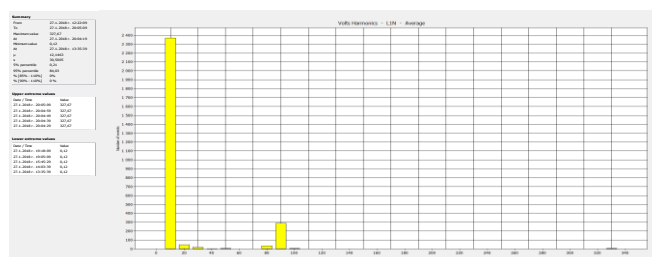
Фиг. 8 Изменение на cos phi



Фиг. 9 Изменение на коэффициента на несинусоидалност THD



Фиг. 10 Изменение напрежението на 3-ти хармоник



Фиг. 11 Изменение напрежението на 11-ти хармоник

Също така минимална и максимална честота е 49,9 – 50,054 Hz. Получената максимална и минимална активна и реактивна мощност е 362 kW и за минималната е 278.8 kW. Пълната мощност достига до стойности – 330/302.1kW, а реактивната 141/105,1 VAr . Изменение на косинуса се изменя в граници – 0,95-0,88 а фактора на мощност PF- 0,88-0,83. Коефициента на несинусоидалност THD е 1.5% при допустими 8% за мрежи средно напрежение (EN 50160:2000). Хармоничните съставляващи разгледани в ред на Фурие са разгледани до 11 хармоник. При достигнато напрежение за 11 хармоник $U_{11} - 84.03 \text{ V}$ и ток $I_{11} - 30,46 \text{ A}$ при 95% от случаите. Таблично са показани в таблица 2 и 3.

Таблица 2

Наименование	Номер на хармоника, %						THD
	1	3	5	7	9	11	
Fluke 430 Series	100	1.22	0.34	0.19	0.18	0.21	1.5

Таблица 3

Наименование	Напрежение на хармоника, V						THD
	1	3	5	7	9	11	
Fluke 430 Series	519	89.12	85.95	84.69	84.39	84.03	1.5

ИЗВОДИ И ЗАКЛЮЧЕНИЯ

Експерименталното изследване на локомотив серия 61.00 е направено при пътническо движение. Движението му София-Дупница и Дупница-София не позволяват да се направят обобщени изводи. Необходимо е да се изследва и движение на влак при различни сезони, особено летните, където околната температура значително влияе.

Частичните по важни изводи от това изследване са:

- ток и напрежение на изправителя не надхвърлят допустимите. Това не означава, че при по-тежки влакове (локомотивите са за маневрена работа, а не за пътническо движение) няма да достигнат допустимите.
- наличие на висши хармоници. Като най-високият е 11.0. Въпреки краткотрайността му напрежението достига 100 V. Тези хармоници допринасят за повишаване на заграването на силовите елементи.

Разглеждайки силовата схема на преобразувателите, трябва да се отбележи, че при всяко спускане и вдигане на токоприемника силовите елементи на изправителя мигновено се захранват със захранващото напрежение. Това неминуемо предизвиква пренапрежение и наличие на висши хармоници, които допълнително утежняват тяхната работа.

За да се подобри оперативното взаимодействие, повишаване надеждността и намаляване предпоставките за отказ на функционалните системи е необходимо да се изследват и температурата на прегряване на силовите елементи, а така също и определи контактния натиск на силовите елементи. Това е предпоставка за по нататъшни експериментални изследвания при движение на влак при различни сезони и натоварвания с локомотив серия 61.00.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Петров И., И. Ангелов, Г. Димитров. Изследване на предпоставките за откази в токоизправителите на електрически локомотив серия 61. Годишник на Техническият Университет – София, т.68, кн. 1, 2018 г., стр. 207-217.

[2] Димитров Г., И. Петров. Изследване на енергийна ефективност на товарните превози с локомотиви SIMENS TAURUS в България. Годишник на Техническият Университет – София, т. 68, кн. 1, 2018 г., стр. 91-101.

[3] Павлов Г., М. Томчева, И. Търпов. Експериментално изследване на енергетичните параметри на модернизирания тиристорен локомотив серия 46-200. сп. Механика, транспорт, комуникации, том. 12, бр. 1, 2014 г., ISSN 1312-3823

[4] Томчева М. Изследване и анализ на параметрите на видовете токоизправителни схеми, експлоатирани в токоизправителни станции., Четвърта научна конференция с международно участие „Комуникации, електрообзавеждане и информатика в транспорта – КЕИТ 2018”, 28.09. - 30.09.2018 г., гр. Банско, 2018 г.

EXPERIMENTAL STUDY ON TECHNICAL PARAMETERS OF POWER RECTIFIER UNIT LOCOMOTIVES SERIES 61-00

Ivan Petrov

ivanpetrov60@abv.bg

**Todor Kableshkov University of Transport
1574 Sofia, „Geo Milev” st, 158
BULGARIA**

Key words: *transport, locomotives, power engineering, power supply, etc.*

Abstract: *The report looks at the technical characteristics of the power rectifier block of an electric maneuver locomotive series 61-00. The purpose of this study is to experimentally determine the operating modes of the power rectifier block. The study was conducted on train 50231 on 11.01.2018 Sofia-Dupnitsa and Dupnitsa-Sofia by train 50232 serviced by locomotives series 61-012 and 61-011. During the movement of the train a dynamic digital recording of traction current and voltage was made with the Fluke 430 Series multifunction device. A harmonic voltage and current analysis was performed in one phase, scanning at a frequency of 4 kHz, using a calculation algorithm - fast Fourier transform.*

In addition, measurements of the overheating temperature in the power elements were carried out. The overheating temperature is determined by a 30-channel temperature recorder type: 3088 hybrid recorder. The "J" type thermocouples (iron-constant) were used for the purpose of the study. The scanning frequency of the device is 0.5s / kanal.

The contact force of the thyristor power module and the diodes included in the rectifier block has also been determined. Analyzes and technical recommendations have been made to reduce the preconditions for damage to the rectifier power block.