

FRI-216-1-ITS(S)-02

**AN INVESTIGATION OF THE ELECTRIC VOLTAGE QUALITY OF
POWER SUPPLY OF AN INDUSTRIAL INDUCTION FURNACE⁷⁷**

Assist. Svetlozar Grigorov, M.Sc.Eng. – PhD Student

Department of Philological and Natural Sciences, Silistra Branch,
University of Ruse “Angel Kanchev”
E-mail: sgrigorov@uni-ruse.bg

Assoc. Prof. Konstantin Koev, PhD

Department of Electric Power Supply and Electrical Equipment,
Department of Philological and Natural Sciences, Silistra Branch,
University of Ruse “Angel Kanchev”
Phone: +359 82 888/ 201, 661
E-mail: kkoev@uni-ruse.bg

***Abstract:** The paper analyses some changes of electric voltage of power supply of a metal melting electric inductance furnace. The measurements of some of electric quantities have been made in the second of the furnace transformer and outside of the power electronic converter. The measurements were realized and results were recorded by three-phase power quality analyser MI 2885 Master Q4. The results are presented graphically and the electric voltage quality is analysed. The conclusions of experimental results can be used for development of technical solutions to improve the power quality of the power supply of the investigated induction furnace.*

***Keywords:** metals melting electric inductance furnace, electric voltage quality.*

ВЪВЕДЕНИЕ

Качеството на електрическата енергия влияе върху работата на електрическите уредби и съоръжения (Belgaum Foundry Cluster, Gonen, T., 2014, Stefanov, St., V. Ruseva, 2010). Един от параметрите на електрическата енергия, който се използва за количествена оценка на качеството ѝ, е електрическото напрежение (BDS EN 50160:2010/A3:2020).

В част от металургичните индустриални обекти се използват индукционни електрически пещи. В тях топенето се дължи на топлинното действие на индуктираните вихрови токове в металите (Iagar, A. et al., 2009). В електрическите схеми на тези пещи се използват електронни преобразуватели на честотата на захранващото напрежение, които изменят електрическото напрежение (Rajalakshmi, D. et al. 2019).

Изследвани са някои показатели на качеството на електрическа енергия на мощни индукционни пещи за топене на метали (Grigorov, Sv., K. Koev, 2021, Grigorov, Sv., K. Koev, 2022). Разгледано е влиянието на съоръженията върху захранващата електрическа мрежа.

Целта на изследването е да се анализират някои показатели на качеството на електрическото напрежение в захранващата мрежа на индустриална индукционна пещ.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Изследван обект

Електрическата индукционна пещ е тигелна, без стоманен магнитопровод. Намотката е изработена от тръбен проводник, в който циркулира вода, за да се осигури подходящо охлаждане. Уредбата е с мощност 800 kW, а захранващото напрежение е трифазно променливо, с ефективна стойност 380 V. Честотата на напрежението в мрежата е 50 Hz, но тя

⁷⁷ Докладът е представен на заседание на секция „IT и технически науки“ на 61 международна научна конференция „Нови индустрии, дигитална икономика, общество – проекции на бъдещето – V“, проведена във Филаал-Силистра на Русенски университет „А. Кънчев, на 28 октомври 2022г. с оригинално заглавие на български език: “ИЗСЛЕДВАНЕ НА КАЧЕСТВОТО НА ЕЛЕКТРИЧЕСКОТО НАПРЕЖЕНИЕ В ЗАХРАНВАЩАТА МРЕЖА НА ИНДУСТРИАЛНА ИНДУКЦИОННА ПЕЩ

се повишава чрез електронен преобразувател до 1 kHz. Температурата на топене е около 1600°C, а масата на разтопения метал може да бъде до 1600 kg.

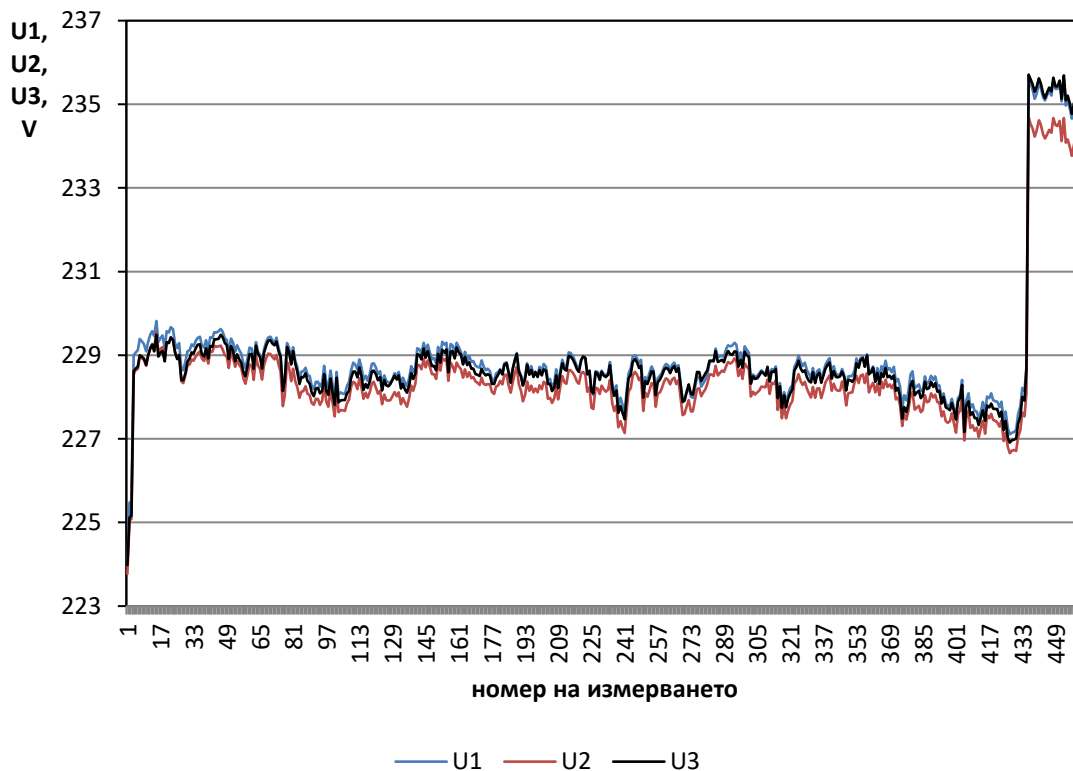
Измервателна апаратура и методика на измерването

Използван е трифазен анализатор на електрическа енергия MI 2885 Master Q4, производство на фирмата Metrel, Словения (MI 2885 Master Q4, Metrel, 2021). Уредът е предназначен за измервания при спазване изискванията на стандартите за качество на електрическа енергия EN 50160, IEC/EN 61000-4-15, IEC/EN 61000-4-30 Class S, IEC/EN 61000-4-7 Class I, IEC/EN 61557-12 и IEEE 1459.

Анализаторът измерва параметрите на електрическата енергия, като е включен в разпределителна уредба 0,4 kV, на извода, захранващ индукционната пещ.

Изследване на качеството на електрическото напрежение

Общият характер на измененията на фазните напрежения в трите фази на захранващата мрежа са показани на фиг.1. Тези изменения се отнасят само за периода на топене на метала. Продължителността на процеса е 26 min и 46 s.



Фиг.1.Изменения на напреженията в отделните фазни проводници U1, U2, U3 на захранващата мрежа.

Характерно е скокообразното нарастване на напреженията в момента на включване на уредбата. След това, за целия период, с изключение на последния пик (започва от номер на измерването 436), се наблюдават изменения в сравнително тесни граници - около (1...2) V. Общата тенденция на измененията на напреженията е намаляваща, като промените са подобни и в трите фази. Последният пик е с продължителност 1 min и 20 s, характеризира се с рязко нарастване на напреженията с около 8 V, след което пещта се изключва.

Детайлните изследвания на напреженията в захранващата мрежа на индукционните пещи (Grigorov, Sv., К. Коев, 2021) показват, че формата им се различава от синусоидалната. Причината е наличието на електронни преобразуватели (Gönen, T., 2014, Iagar, A. et al., 2009, Rajalakshmi, D. et al. 2019).

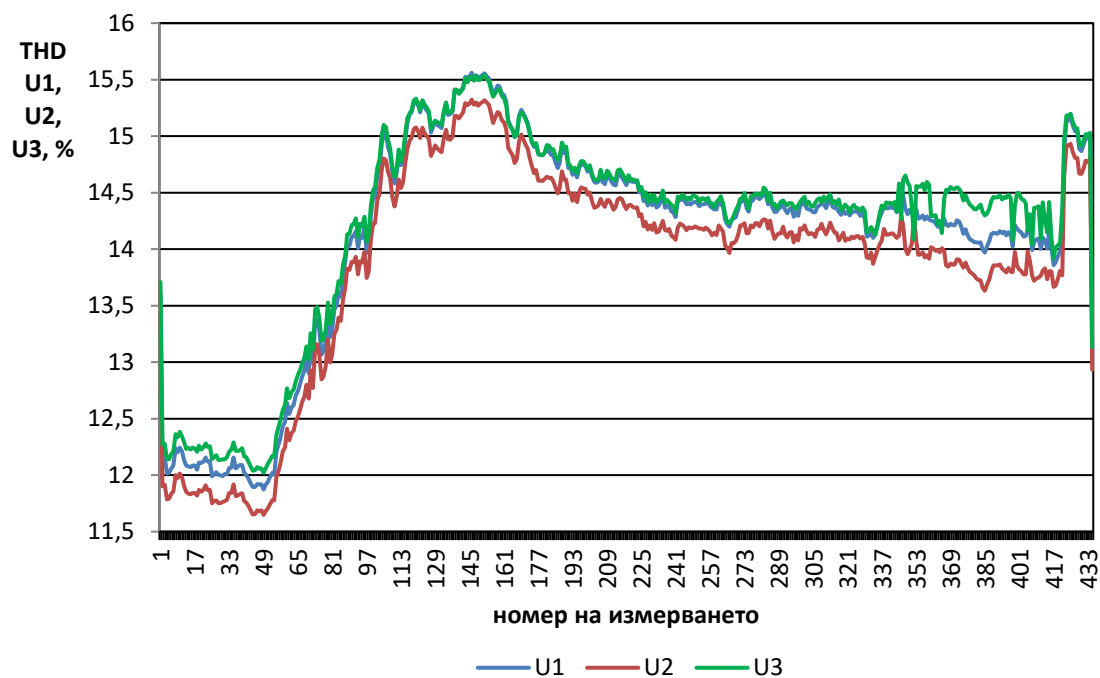
Количествена оценка на деформацията на формата на напрежението се дава с коефициента на несинусоидалност по напрежение THD_U (Total Harmonics Distortion of Voltage), в съответствие с (BDS EN 50160:2010/A3:2020). Стойностите на коефициента се определят по формулата:

$$\text{THD}_U = \frac{\sqrt{\sum_{i=2}^{50} U_i^2}}{U_1} \cdot 100, \%;$$
(1)

където U_i е ефективната стойност на i -тия хармоник на напрежението, V;

U_1 – ефективната стойност на първия хармоник на напрежението, V.

Измененията на стойностите на коефициентите на несинусоидалност по напрежение THD_U за всяка от трите фази на захранващото напрежение на индукционната пещ са показани на фиг.2. Измененията в трите фази са близки по стойност и се отнасят само за периода на топене на метала (продължителността на процеса е 26 min и 46 s, както и за графиката на фиг.1).



Фиг.2. Изменения на стойностите на коефициентите на несинусоидалност по напрежение THD_U за всяка от трите фази.

Разглежданият период започва с пик на стойностите на коефициента THD_U (в момента на включване на уредбата): 13,6% (за напрежение U1), 13,2% (за U2) и 13,7% (за U3). След първоначалния пик стойностите рязко намаляват до минималните - около 12%, по-точно: 12,0% (за напрежение U1), 11,8% (за U2) и 12,1% (за U3). Следва по-плавно намаляване за кратък интервал (до номер на измерването 44) и постепенно продължително нарастване до максималната стойност - около 15,5%. През следващия период, с изключение на последния пик, се наблюдават изменения в сравнително тесни граници – под 1%. Общата тенденция на измененията на стойностите на коефициента THD_U е намаляваща, като промените са подобни и в трите фази. В края на периода, преди последния пик, разликите между стойностите на коефициентите за трите фази симетрично се увеличават до около 0,5%. В края на изследвания период рязко нарастват стойностите с около 1%, след което пещта се изключва. Прави впечатление, че стойностите на коефициента THD_U са най-големи за третата фаза (U3) и най-малки за втората фаза (U2), за целия изследван период. Това се дължи на особеностите на използваната схема и на различното натоварване на фазите – най-натоварена е третата (U3), а

с най-малък товар е втората фаза (U2). Интервалите на изменение на стойностите на коефициента THD_U, %, на трите фази, са: $11,9 \leq U1 \leq 15,6$; $11,6 \leq U2 \leq 15,3$; $12,0 \leq U3 \leq 15,5$.

Анализаторът на електрическа енергия MI 2885 Master Q4 измерва хармониците до 50-и и изчислява стойностите на коефициента THD_U в абсолютни единици (V) и в проценти (%). В табл.1 са представени стойностите на коефициентите на несинусоидалност по напрежение THD_U за първия (основния) хармоник, за всяка фаза L1, L2 и L3. Стойностите се отнасят за продължителна работа на индукционната пещ, като се редуват процеси на топене (уредбата е включена) и леене (уредбата е изключена).

Таблица 1. Стойности на коефициентите на несинусоидалност по напрежение THD_U за първия (основния) хармоник, за всяка фаза L1, L2 и L3

№	Коефициент	Фази на захранващата мрежа		
		L1	L2	L3
1	THD _U , %	13,3	12,9	13,5
2	THD _U , V	29,2	28,4	29,8

Стойностите на коефициента THD_U за първия хармоник на напрежението във всяка от фазите са близки – разликите са по-малки от 1%. Това означава, че несинусоидалните изкривявания са идентични в трите фази.

Показаните стойности (%) са по-големи от максимално допустимата 8% (BDS EN 50160:2010/A3:2020). Следователно резултатите не съответстват на стандарта.

ИЗВОДИ

Измененията на трите фазни напрежения, с изключение на нарастването към последния пик, са в сравнително тесни граници - около (1...2) V. Общата тенденция на измененията е намаляваща, с изключение на последния пик, като промените са подобни и в трите фази.

Стойностите на коефициента THD_U, %, се изменят в интервали с почти еднакви граници: $11,9 \leq L1 \leq 15,6$; $11,6 \leq L2 \leq 15,3$; $12,0 \leq L3 \leq 15,5$.

Измерените стойности на коефициентите на несинусоидалност по напрежение THD_U, за трите фази, за изследваните работни цикли на индукционната пещ, са 13,3% (L1), 12,9% (L2), 13,5 % (L3).

Измерените стойности на коефициента THD_U са по-големи от дадените в

стандартите. Това налага да изследват допълнително работните режими на уредбата, за да се предложат подходящи решения за повишаване на качеството на електрическото напрежение.

REFERENCES

BDS EN 50160:2010/A3:2020 Voltage characteristics of electricity supplied by public electricity networks. (**Оригинално заглавие:** БДС EN 50160:2010/A3:2020. *Характеристики на напрежението на електрическата енергия, доставяна от обществените разпределителни електрически мрежи*).

Belgaum Foundry Cluster, Best Operating Practices (2017), **A GEF-UNIDO-BEE Project**, Promoting Energy Efficiency and Renewable Energy in Selected MSME Clusters in India, Ministry of New and Renewable Energy, Bureau of Energy Efficiency, MICRO, SMALL & MEDIUM ENTERPRISES, <https://beeindia.gov.in/sites/default/files/BOP-Belgaum.pdf>.

Gönen, T. (2014) Electric Power Distribution Engineering. 3rd Edition, CRC Press, Boca Raton.

Iagar, A., G. N. Popa, C. M. Dinis (2009). Assessment of Power Quality for Line Frequency Coreless Induction Furnaces. WSEAS TRANSACTIONS on CIRCUITS and SYSTEMS, Issue 1, Volume 8, January, ISSN: 1109-2734.

Rajalakshmi, D., R.Kavitha, K.Premalatha (2019). Harmonic Research and Mitigation Techniques in Induction Furnace. International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT), Volume-8 Issue-6S, August 2019, ISSN: 2249 – 8958.

Stefanov, St., V. Ruseva (2010). Electric power supply. University of Ruse “Angel Kanchev” press, Ruse. (**Оригинално заглавие:** Стефанов, Ст., В. Русева (2010). Електроснабдяване. Русенски университет „Ангел Кънчев”, Университетско издателство Русе).

Grigorov, Sv., K. Koev (2021). Investigation the electrical power quality of a metals melting electric induction furnace. 60th Science Conference of Ruse University - Ruse. (**Оригинално заглавие:** Св. Григоров, К. Коев (2021). Изследване качеството на електрическата енергия на електрическа индукционна пещ за топене на метали. 60-та научна конференция на Русенския университет „Ангел Кънчев”).

Grigorov, Sv., K. Koev (2022). Investigation on some electrical power quality indices of a metals melting electric induction furnace. Proceedings 61st Science Conference of Ruse University – SSS Ruse, volume 61, book 11.4, ISSN: 1311-3321). (**Оригинално заглавие:** Св. Григоров, К. Коев (2022). Изследване на някои показатели на качеството на електрическата енергия на електрическа индукционна пещ за топене на метали. Сборник доклади на 61-а научна конференция на Русенския университет „Ангел Кънчев” - Студентска научна сесия, Том 61, серия 11.4, ISSN: 1311-3321).

Power Quality Analyser MI 2885 Master Q4. Manual. Metrel, 2021.