

AN INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF AN INDUSTRIAL INDUCTION FURNACE ON THE ELECTRIC VOLTAGE QUALITY OF POWER SUPPLY²

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

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

Abstract: The paper analyses the influence of the operation of an industrial induction furnace on the electrical voltage quality of the power supply. The measurements of electric quantities have been made in the second side of the furnace transformer and outside of the power electronic converter. The three-phase power quality analyser MI 2885 Master Q4 is used to measurement and to record the results. The results are presented graphically and the electric voltage quality by coefficient of the total harmonic distortion (THD) is analysed. Some characteristic regularities for the values of the THD have been established. The conclusions of experimental results can to use for development of technical solutions to improve the power quality of the power supply of the investigated induction furnace.

Keywords: electric voltage quality, metals melting electric inductance furnace, total harmonic distortion, voltage harmonics.

ВЪВЕДЕНИЕ

Електрическата енергия намира широко приложение в индустриални уредби, като тяхната ефективна работа зависи от качеството на тази енергия (Belgaum Foundry Cluster, Gönen, T., 2014, Stefanov, St., V. Ruseva, 2010). Количествена оценка на качеството на електрическата енергия се определя чрез показатели, характеризиращи различни параметри. Един от тях е формата на електрическото напрежение (BDS EN 50160:2010/A3:2020).

Индукционните електрически пещи са част от технологичното обзавеждане на металургичните индустриални обекти. Тези уредби се използват за топене на метали чрез топлинното действие на индуктираните вихрови токове в материалите за топене (Iagar, A. et al., 2009). Захранването с електрическа енергия се реализира чрез електронни преобразуватели, които изменят честотата и стойността на напрежението на захранващата мрежа (Rajalakshmi, D. et al. 2019).

Проведени са изследвания на 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). Анализирано е влиянието на работните режими на съоръженията върху параметрите на захранващата електрическа мрежа.

Целта на изследването е да се анализира влиянието на работата на индустриална индукционна пещ върху качеството на електрическото напрежение на захранващата мрежа.

² Докладът е представен в секция Електротехника, електроника и автоматика на 27 октомври 2023 с оригинално заглавие на български език: ИЗСЛЕДВАНЕ ВЛИЯНИЕТО НА ИНДУСТРИАЛНА ИНДУКЦИОННА ПЕЩ ВЪРХУ КАЧЕСТВОТО НА ЕЛЕКТРИЧЕСКОТО НАПРЕЖЕНИЕ НА ЗАХРАНВАЩАТА МРЕЖА

ИЗЛОЖЕНИЕ

Изследван обект

Изследваната пещ е електрическа индукционна, тигелна. Намотката е без стоманен магнитопровод, цилиндрична, навита от тръбен проводник, в който протича вода за охлаждане. Уредбата е с номинална мощност 800 kW и се захранва с трифазно променливо напрежение с ефективна стойност 380 V. Честотата на напрежението на захранващата мрежа е 50 Hz и се повишава чрез електронен преобразувател до около 430 Hz. Температурата на топене зависи от вида на материала (в случая около 1600°C), а масата на разтопения метал е до 1600 kg.

Измервателна апаратура и методика на измерването

Измерванията на стойностите на напрежението и характерни негови параметри се осъществяват чрез трифазен анализатор на електрическа енергия MI 2885 Master Q4, Metrel, Словения (MI 2885 Master Q4, Metrel, 2021). Уредът работи в съответствие с 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 е включен по четирипроводна схема на страна ниско напрежение (НН) 0,4 kV на силов трансформатор, захранващ уредбата на индукционната пещ.

Измерванията се извършват в съответствие със стандартите.

Изследване на качеството на електрическото напрежение

Индукционните пещи изискват захранване на намотката им (индуктора) с възможност за регулиране на напрежението и неговата честота. За целта се използват подходящи преобразуватели, които позволяват изменение на честотата на мрежовото напрежение. Индукторът на мощните пещи представлява еднофазен товар, който се захранва от трифазна мрежа с промишлена честота 50 Hz. Преобразувателят променя броя на фазите на захранващата мрежа от 3 на 1 и стойността на честотата. Тези изменения са свързани с изкривявания на синусоидалната форма на напрежението (Gönen, T., 2014, Iagar, A. et al., 2009, Rajalakshmi, D. et al. 2019). Оценката за измененията се определя от един от показателите на качеството на електрическата енергия – несинусоидалност. Уредбите и съоръженията могат да работят безаварийно и ефективно, ако се използва синусоидално по форма напрежение.

Изследвания на индукционни пещи потвърждават, че формата на напреженията в захранващата мрежа е различна от синусоидалната (Grigorov, Sv., K. Koev, 2021). Това се дължи на използваните електронни преобразуватели.

Изменението на формата на напрежението се определя количествено чрез коефициента на несинусоидалност по напрежение THD_U (Total Harmonics Distortion of Voltage), в съответствие с (BDS EN 50160:2010/A3:2020). Формулата за определяне стойността на коефициента е:

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

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

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

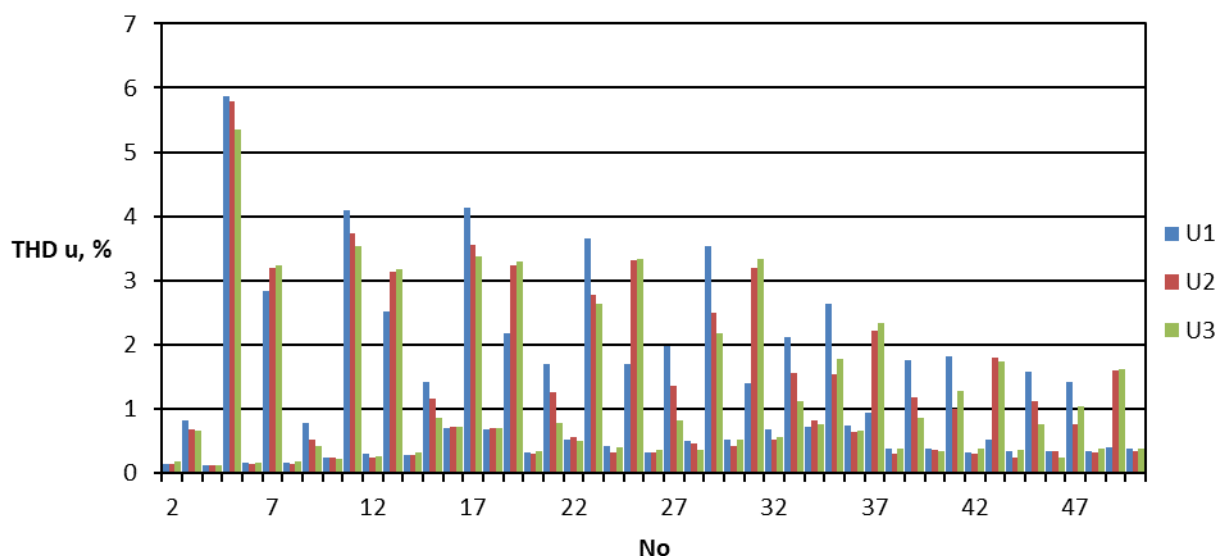
Стойностите на коефициента THD_U, %, за всеки хармоник до 50-и, включително, за всяка от трите фазни напрежения, се измерват и записват от анализатора, като част от данните са представени в Табл. 1.

Таблица 1. Стойности на коефициента на несинусоидалност по напрежение THD_U за всяко от фазните напрежения U1, U2, U3

Пореден номер на хармоника No	За напрежение U1 THD U _{1i} , %	За напрежение U2 THD U _{2i} , %	За напрежение U3 THD U _{3i} , %
2	0,13	0,13	0,17
3	0,82	0,68	0,65
4	0,11	0,11	0,11
5	5,87	5,8	5,36
6	0,15	0,13	0,16
7	2,84	3,2	3,24
8	0,16	0,14	0,18
9	0,77	0,52	0,41
10	0,23	0,23	0,22
11	4,1	3,73	3,53
12	0,29	0,24	0,25
13	2,52	3,14	3,17
14	0,27	0,27	0,31
15	1,41	1,16	0,86
16	0,7	0,72	0,71
17	4,13	3,55	3,38
.....			
30	0,52	0,41	0,51
31	1,39	3,2	3,34
32	0,67	0,51	0,56
33	2,11	1,56	1,12
.....			
48	0,33	0,31	0,38
49	0,39	1,59	1,61
50	0,38	0,33	0,38

Стойността на общия коефициент THD_U за всяко от трите фазни напрежения U1, U2, U3, за целия период на измерване, е съответно 12,19%, 12,19% и 11,84%. Според изискванията на стандартите тези стойности не трябва да са по-големи от 8,00% (BDS EN 50160:2010/A3:2020). Следователно формата на трите фазни напрежения не отговарят на изискванията.

Стойностите на коефициентите на несинусоидалност по напрежение THD_U за всяка от трите фази U1, U2, U3 на захранващото напрежение на индукционната пещ са показани на Фиг. 1. Не е показана стойността за основния хармоник (1-ви), защото спрямо него са изчислени стойностите за останалите хармоници. Най-големите стойности са за 5-я хармоник, като за трите напрежения те са съответно 5,87%, 5,80% и 5,36%. Тези стойности са по-големи от предписаната в стандартите 5%. Стойностите на коефициента THD_U за всички останали хармоници са по-малки от 5%.



Фиг. 1. Стойности на коефициентите на несинусоидалност по напрежение THD_u за всяка от трите фази, за всеки от хармониците с номера от 2 до 50.

Прави впечатление, че стойностите на коефициента THD_u за всеки пореден хармоник са различни за всяко от фазните напрежения. Наблюдава се следната закономерност при нечетните хармоници. За 3-и и 5-и хармоници стойностите на коефициентите THD_u са най-големи за напрежение U1, след това за U2 и накрая за напрежение U3. След това, за 7-я хармоник подреждането на стойностите е в обратен ред – най-малката стойност е за напрежение U1, след това за U2 и стойността за напрежение U3 е най-голяма. За следващите хармоници се повтаря тази зависимост – за 9- и 11-и стойностите се подреждат, както за 3-и и 5-и, а за 13-и хармоник – както за 7-и. Тези особености се дължат на конфигурацията на схемата на преобразувателя за захранване на индуктора на пещта.

ИЗВОДИ

Измерените стойности на общите коефициенти на несинусоидалност по напрежение THD_u , за трите фазни напрежения, на индукционната пещ, са 11,19% (U1, U2), 11,84% (U3).

Измерените стойности на коефициента THD_u са по-големи от дадените в стандартите. Това налага да се анализират причините и да се предложат подходящи решения за повишаване на качеството на електрическото напрежение.

Установени са характерни закономерности в измененията на стойностите на коефициентите THD_u за всяко от фазните напрежения, за нечетните хармоници.

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.

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).

Grigorov, Sv., K. Koev (2022). An investigation of the electric voltage quality of power supply of an industrial induction furnace. *Proceedings 61st Science Conference of Ruse University – Ruse, volume 61, book 11.1, ISSN: 1311-3321*). (**Оригинално заглавие:** Св. Григоров, К. Коев (2022). Изследване на качеството на електрическото напрежение в захранващата мрежа на индустриална индукционна пещ. Сборник доклади на 61-а научна конференция на Русенския университет „Ангел Кънчев”, Том 61, серия 11.1, ISSN: 1311-3321).

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.

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

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).