

## ЕНЕРГИЕН ФОРУМ 2024

### ВИСШИ ХАРМОНИЦИ В МРЕЖИ НИСКО НАПРЕЖЕНИЕ, ЗАХРАНВАЩИ ПОСТОЯННОТОКОВИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

Николай Лаков

### HIGHER HARMONICS IN LOW VOLTAGE NETWORKS SUPPLYING DC CONVERTERS

Nikolay Lakov

**Abstract:** The higher harmonics in low voltage networks of a large mining company were investigated. The possibility of compensating for the reactive loads on the low voltage side has been evaluated. The results of the measurements are compared with the requirements of the current standards.

Висшите хармоници в мрежите НН на трансформаторите, захранващи вентилни преобразователи са неотменна черта в тяхната нормална работа [3]. Няма норми за големината на коефициентите на несинусоидалност в тези мрежи. Целта на експерименталните изследвания се свежда до преценка за възможно претоварване на трансформатори и кабели от висши хармоници. В [6] е установено е, че загубите в разпределителните мрежи в следствие на висшите хармоници в мрежите за ниско напрежение представляват около 0,6% от общите загуби. Резултатите от амплитудно-честотния анализ на напрежението и тока биха могли да послужат при избора на устройства за компенсация, свързани на ниската страна на трансформаторите.

### ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ

Измерванията са проведени с многофункционален мрежов анализатор FLUKE 437-II, извършващ хармоничен анализ на напрежението и тока в трите фази, прилагайки изчислителен алгоритъм – бързо преобразуване на Фурие. Приборът дава стойностите на хармоничния състав в % спрямо основния хармоник (50 Hz) до хармоник с номер 50 (2500 Hz).



Обхвата на измерваните величини и продължителността на измерванията са различни за отделните точки на измерване и са определени от изискванията на [1, 2].

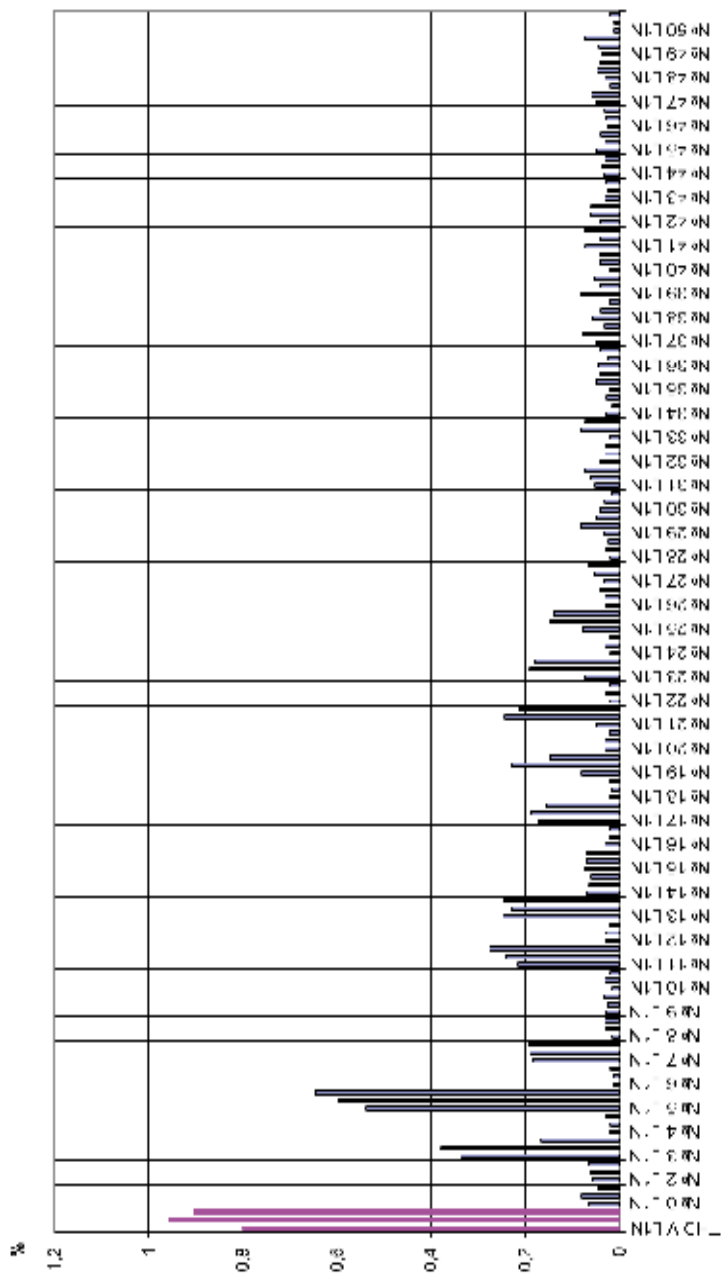
Проведени са измервания за определяне хармоничния състав на напрежението 0,4 kV на всички намиращи се в работа трансформатори 6/04 kV.

В цех ССТ липсват мощни регулируеми задвижвания или полупроводникови захранвания. Провеждането на измервания за определяне на хармоничния състав на страна 0,4 kV на трансформаторите 6/0,4 kV се наложи за оценка на възможността компенсирането на реактивните товари да се извърши от компенсиращи устройства на ниско напрежение. [8, 9] На фиг. 2 е дадена хистограмата на регистрираните коефициенти на хармониците на един от трансформаторите 6/0,4kV в цех ССТ.

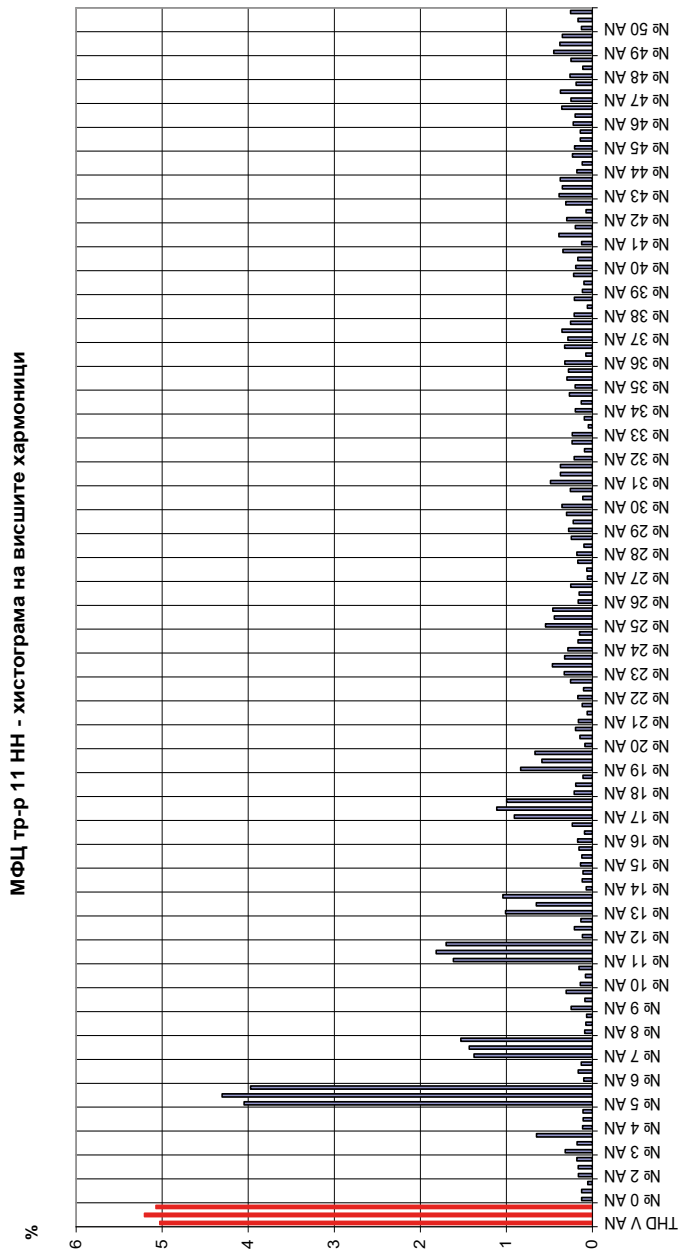
Номерата на регистрираните хармоници, както и стойностите на коефициентите им са близки за четирите трансформатора. Стойността на сумарния коефициент на хармоничните съставлящи е под 1% за всички трансформатори. От анализирания до № 50 хармоници по-изявени са 3-ти, 5-ти, 7-ми, 11-ти и 13-ти. Нито един от регистрираните коефициенти на индивидуалните хармоници не надвишава допустимите стойности (виж. ред 1 от Табл.1).

Направени са изследвания на висшите хармоници и в цех МФЦ. Целта е да се установи влиянието на тиристорните възбудители на синхронните електродвигатели на мелничните агрегати върху формата на кривата на напрежението 0,4 kV. В цеха има инсталирани и значителни по мощност честотни регулатори за регулиране скоростта на гумено-транспортни ленти. При регулиране по този начин на електромеханичните им характеристики се генерират нечетни хармоници [4, 5].

ССТ тр-р 1 НН - гистограма на вислигте хармоници



Фиг. 2



**Фиг. 3**

На фиг. 3 е дадена хистограмата на коефициентите на висшите хармоници на трансформатора с най-високи стойности на хармониците. Сумарният коефициент на висшите хармоници (THD) надхвърля 5%. Най-изявен е 5-ти хармоник с коефициент над 4%, следван от 11-ти – 1,71% и 7-ми – 1,45%. Всички останали трансформатори в цех МФЦ имат значително по-ниски коефициенти на хармониците [7]. В таблица 1 са систематизирани обработените данни за коефициентите на най-изявените висши хармоници на страна 0,4 kV на цеховите трансформатори в МФЦ. В таблицата са дадени допустимите стойности на коефициентите на хармониците съгласно изискванията на БДС EN 50160:2010 за ниво на напрежението 0,4 kV.

Относно сумарния коефициент на хармонични съставлящи (THD) в БДС EN 50160:2010 за ниво на напрежението 0,4 kV са дадени две стойности:

- 8% в течение на 95% от времето на една седмица;
- 12% в течение на 100% от времето на една седмица.

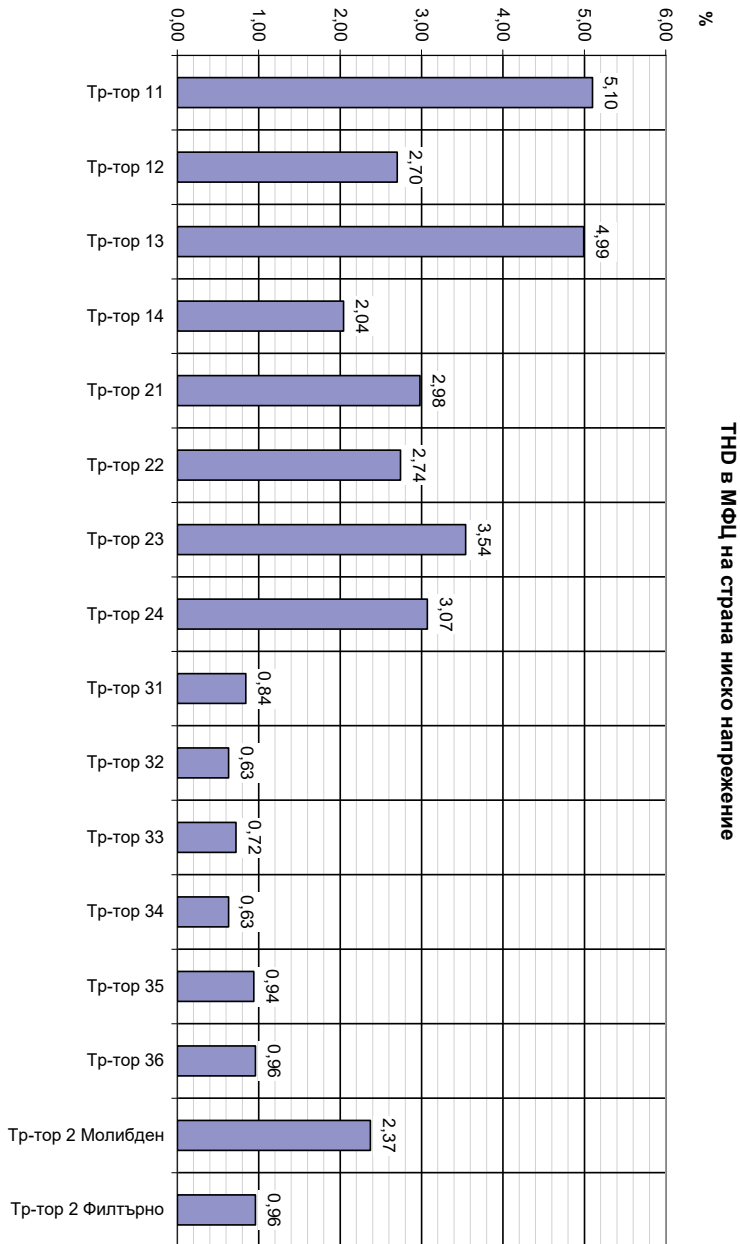
От данните на таблица 17 се вижда, че в преобладаващата част от трансформаторите в цех МФЦ коефициентите на висшите хармоници са многократно по-ниски от допустимите по стандарт.

**Таблица 1**

№ на хармоник	THD	3	5	7	9	11	13
Допустими стойности по БДС EN 50160:2010	<b>8% (12%)</b>	<b>5,0%</b>	<b>6,0%</b>	<b>5,0%</b>	<b>1,5%</b>	<b>3,5%</b>	<b>3,0%</b>
Тр-тор 11	5,10	0,38	4,11	1,45	0,21	1,71	0,90
Тр-тор 12	2,70	0,52	1,37	1,01	0,19	0,74	0,77
Тр-тор 13	4,99	0,43	4,01	1,17	0,23	1,61	0,87
Тр-тор 14	2,04	0,23	1,30	0,63	0,12	0,74	0,31
Тр-тор 21	2,98	0,25	2,16	1,10	0,15	0,82	0,64

Тр-тор 22	2,74	0,22	1,87	0,92	0,12	1,00	0,37
Тр-тор 23	3,54	0,56	1,68	1,23	0,30	0,94	0,81
Тр-тор 24	3,07	0,30	1,74	1,67	0,23	0,60	0,70
Тр-тор 31	0,84	0,17	0,66	0,25	0,02	0,25	0,16
Тр-тор 32	0,63	0,18	0,40	0,20	0,03	0,12	0,25
Тр-тор 33	0,72	0,16	0,48	0,24	0,02	0,22	0,25
Тр-тор 34	0,63	0,14	0,44	0,23	0,02	0,15	0,15
Тр-тор 35	0,94	0,18	0,71	0,28	0,03	0,29	0,20
Тр-тор 36	0,96	0,21	0,64	0,38	0,04	0,16	0,34
Тр-тор 2 Молибден	2,37	0,21	1,80	1,23	0,06	0,38	0,40
Тр-тор 2 Филтърно	0,96	0,20	0,63	0,41	0,05	0,22	0,27

Построена е хистограмата на сумарния коефициент на хармониците (THD) за изследваните 16 трансформатора в цех МФЦ (фиг. 4). Фигурата дава добра визуална представа за нивото на замърсяване с висши хармоници на напрежението 0,4 kV на трансформаторите в цех МФЦ.



**Фиг. 4**



## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

От направените изследвания може да се направят следните изводи:

- В мрежите НН на предприятието е установено наличието на четни и нечетни хармоници в напрежението. Четните хармоници са значително под нормите, при което може да бъдат пренебрегнати.
- В цех МФЦ има по-силно изразени висши хармоници в сравнение с цех ССТ, което се дължи най-вече на тиристорните възбудители за мелничните агрегати.
- Най-силно изразени са 5-ти, 7-ми и 11-ти в Цех МФЦ. Прави впечатление ниските нива на 3-ти хармоник, който е филтриран от собствените трансформатори на тиристорните възбудители
- Силовите трансформатори оказват филтриращо действие и на страна 110kV се наблюдават малки хармонични изкривявания.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. IEC 61000-4-30:2008 Electromagnetic compatibility (EMC) – Part4-30: Testing and measurement techniques-Power quality measurement methods (MOD)
2. БДС EN 50160:2010 „Характеристики на напрежението на електрическата енергия, доставяна от обществените електрически мрежи” 2014
3. Стоилов Ив., К. Джустров, Т. Николов, Изследване хармоничния състав на напрежението и тока при работа на електродъгови стоманодобивни пещи, Сп. Енергиен форум, бр. 15/16, 2015г., стр. 65-69
4. Dzhustrov K., Zh. Iliev, Study of starting characteristics of a rubber belt conveyor for open-pit conditions, ANNUAL of the University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski" - Sofia, 2023, vol.66, pp216-219
5. Dzhustrov K., Zh. Iliev, Study of the electromechanical load of the motor-reducer group for a double drum drive of a belt conveyor, Journal of Physics: Conference Series, Volume 2339, International Conference on Electronics, Engineering Physics and Earth Science 2022 (EEPES 2022), 21.06-24.06, Varna,

ISSN 1742-6588, Volume 2339, Issue 1, Article number 012028,  
pp. 1-7, DOI 10.1088/1742-6596/2339/1/012028

6. Wenqian Yuan, Harmonic Loss Analysis of Low-Voltage Distribution Network Integrated with Distributed Photovoltaic, Sustainability 2023, 15(5), 4334; <https://doi.org/10.3390/su15054334>
7. Илиев, И., Влияние на консуматорите върху качеството на електрическата енергия с генериране на висши хармоници, „Научно-технически съюз на енергетиците в България“ Енергиен форум 2016, част 2, стр. 55-58, гр.София, ISSN 2367-6728
8. Илиев, И., Критичен анализа проблемите свързани с влияние на външни консуматори върху качеството на електрическата енергия. стр.136 сборник Енергиен форум НТСЕБ 27-30 юни 2017г., ISSN 2367-6728
9. Киров, Р., Илиев, И., Електроенергийна ефективност, гр.Варна, издателство „Ена“ ООД, 2017г., ISBN 978-619-7255-05-8

## **АВТОР**

гл. ас. д-р Николай Лаков, МГУ "Св. Иван Рилски"