

## ЕНЕРГИЕН ФОРУМ 2024

### ИЗСЛЕДВАНЕ НА КАЧЕСТВОТО НА ЕЛЕКТРИЧЕСКАТА ЕНЕРГИЯ В ЕЛЕКТРОСНАБДИТЕЛНАТА СИСТЕМА НА МИННО ПРЕДПРИЯТИЕ

Кирил Джустров

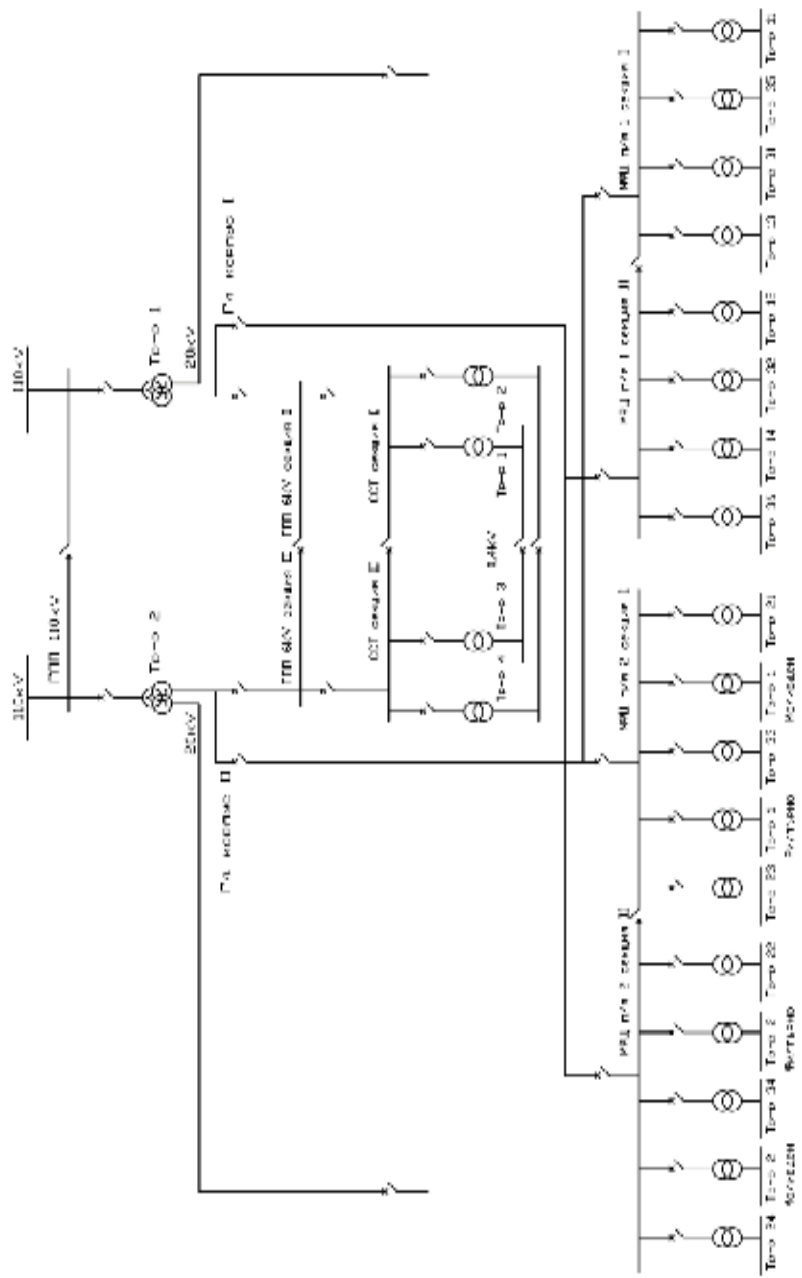
### STUDY OF THE ELECTRICAL ENERGY QUALITY IN THE ELECTRICAL SUPPLY SYSTEM OF MINING COMPANY

Kiril Dzhustrov

**Abstract:** A study of the electrical energy quality in the electrical supply system of mining company given in the paper. An analysis and comparison of the obtained results for each of the electrical energy quality indexes according to the norms are done.

Изследвани са показателите на електроенергията в точката на търговско мерене на голямо предприятие от миннодобивната промишленост. За тяхното определяне в продължение на една седмица бяха записвани и осреднени на интервали от време определени в стандартите електрически величини, позволяващи да се определят всички показатели на качеството на електрическата енергия. На фигура 1 е представена еднолинейната схема на предприятието.

Измерванията са проведени с многофункционални мрежови анализатори FLUKE 437-II и FLUKE 435-II. В мрежовите анализатори има вграден модул за измерване на показателите за качество на електрическата енергия. Алгоритъмът на работа на този модул е съставен в съответствие с изискванията на [1]. Резултатите от измерванията на показателите за качество на електрическата енергия са съпоставени с изискванията на [2].

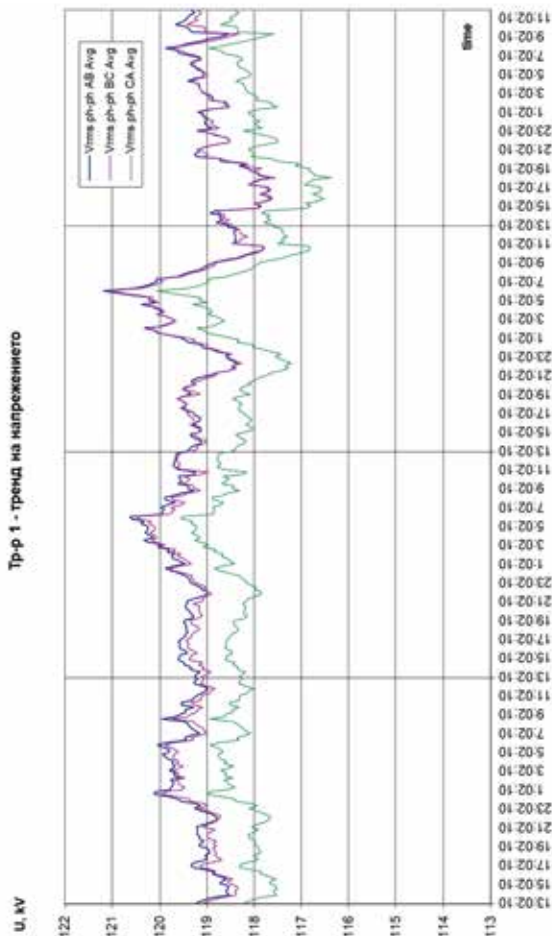


Фиг.1  
 396

## Експериментални изследвания

### Напряжения на страна 110 kV

На фиг.2 е показан запис на линейните напряжения на страна 110 kV на трансформатор №1 в продължение на почти четири дни. Вижда се, че стойностите на напряженията АВ и ВС почти съвпадат, докато напряжението СА е по-ниско – с около 1,0 kV. Максималната регистрирана стойност на напряжението АВ за периода на измерване е 121,187 kV, а минималната – в СА – 116,369 kV.



Фиг. 2

Записите на напрежението на страна 110kV на трансформатор №2 са еднакви с тези, показани на фиг. 2, тъй като двата трансформатора се захранват от един електропровод 110kV.

### ***Висши хармоници***

В съответствие с изискванията на [2,9] е необходимо да бъдат определени стойностите на коефициентите на хармоничните съставлящи в напрежението до 40-тия в проценти, спрямо основния хармоник в точките на търговско измерване на електрическата енергия.

Необходимо е също така да се определи стойността на сумарния коефициент на хармониците (THD), в проценти спрямо основния хармоник в точките на търговско измерване на електроенергията.

Стойностите на индивидуалните коефициенти на хармоничните съставлящи, осреднени в интервал от 10 min, не трябва да превишават дадените в [2] стойности в продължение на 100 % от времето на една седмица.

Стойността на сумарния коефициент на хармониците (THD), осреднен в интервал от 10 min, не трябва да надвишава стойността, дадена в стандарта, в продължение на 100 % от времето на една седмица.

Резултатите от проведените едноседмични измервания на висшите хармоници, осреднени в интервал от 10 min, на страна 110 kV са показани на фиг. 2.



**Фиг. 2**

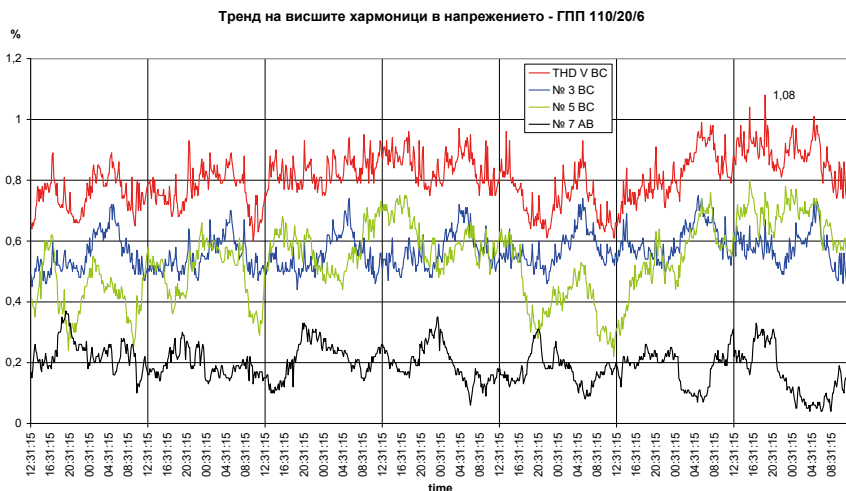
В таблица 1 е направено сравнение на регистрираните стойности от мрежовия анализатор, в продължение на една седмица, на коефициентите на индивидуалните хармоници и на общия коефициент на хармониците (THD) и изискванията на [2,13] за напрежение 110 kV. В таблицата са отчетени коефициентите на хармониците със стойност по-голяма от 0,1%. Дадена е най-голямата отчетена стойност от измерените в трите фази.

**Таблица 1.**

Номер на хармоника	Допустима стойност, %	Измерена стойност, %
3	2,25	0,55
5	2,25	0,54
7	1,50	0,20
11	1,50	0,18
13	1,05	0,15
THD	3,00	0,80

Данните от таблица 1 показват, че нелинейните електрическите консуматори в предприятието внасят незначителни изменения в кривата на напрежението. Регистрираните стойности на коефициентите на отделните хармоници, както и общият коефициент на хармониците (THD) са далеч под допустимите стойности.

Изменението във времето на регистрираните хармоници във фазата с най-голям коефициент, както и на общия коефициент на хармониците (THD) е показано на фиг.3.



**Фиг.3.** Тренд на висшите хармоници в напрежението – ГПП 110/20/6

От фиг.3 се вижда, че и моментните стойности на коефициентите на висшите хармоници имат много ниски стойности. Максималната моментна стойност в общия коефициент на хармоничните съставлящи (THD) е със стойност 1,08

### ***Несиметрия на напреженията***

Несиметрията на напреженията в трифазна система на електроснабдяване се оценява по метода на симетричните съставлящи. При наличие на несиметрия допълнително към напрежението с права последователност съществува и напрежение с обратна последователност и/или напрежение с

нулева последователност. Показателите за качество на електроенергията, дефинирани в EN 50160:2010, са коефициент на несиметрията на напрежението по обратна последователност

$$K_{2u} = U_2 / U_1 \cdot 100$$

и коефициент на несиметрията на напрежението по нулева последователност

$$K_{0u} = U_0 / U_1 \cdot 100.$$

Където:

- $U_1$  – напрежение с права последователност;
- $U_2$  – напрежение с обратна последователност;
- $U_0$  – напрежение с нулева последователност.

За указаните показатели са установени следните норми:

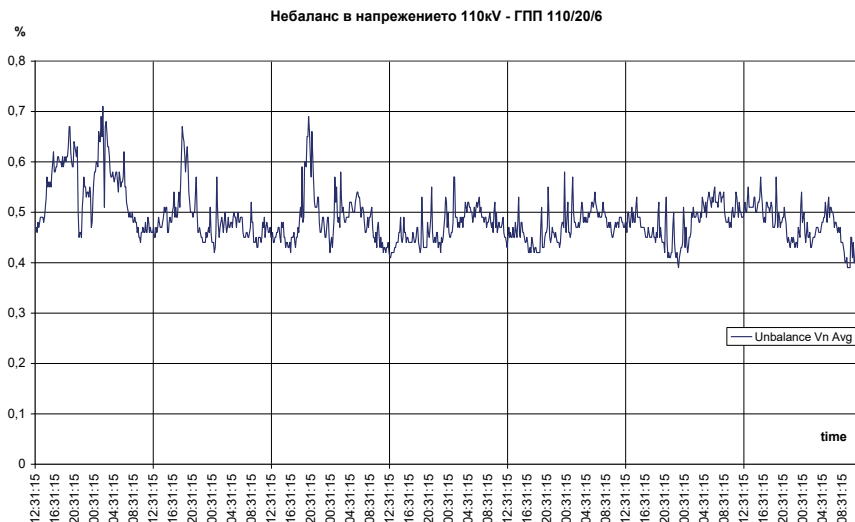
- Стойностите на коефициента на несиметрия на напрежението по обратна последователност  $K_{2u}$  и коефициента на несиметрия на напрежението по нулева последователност  $K_{0u}$  в точката на предаване на електрическата енергия, осреднени в 10 минутен интервал, не трябва да превишават 2% в продължение на 95% от времевия интервал на една седмица.

- Стойностите на коефициента на несиметрия на напрежението по обратна последователност  $K_{2u}$  и коефициента на несиметрия на напрежението по нулева последователност  $K_{0u}$  в точката на предаване на електрическата енергия, осреднени в 10 минутен интервал, не трябва да превишават 4% в продължение на 100% от времевия интервал на една седмица.

- Измерването на основната съставяща на входния сигнал трябва да се извършва на база на основния времеви интервал – 10 периода за система за электроснабдяване с честота 50 Hz.

В трипроводните електрически системи коефициента на несиметрия на напрежението по нулева последователност  $K_{0u} =$

0. На фиг.4 са дадени резултатите от измерванията на коефициента на несиметрия на напрежението по обратна последователност  $K_{2u}$ , регистрирани в продължение на една седмица в точката на предаване на електроенергията (110 kV). Вижда се, че стойностите на  $K_{2u}$  са многократно по-ниски от допустимите по стандарт.



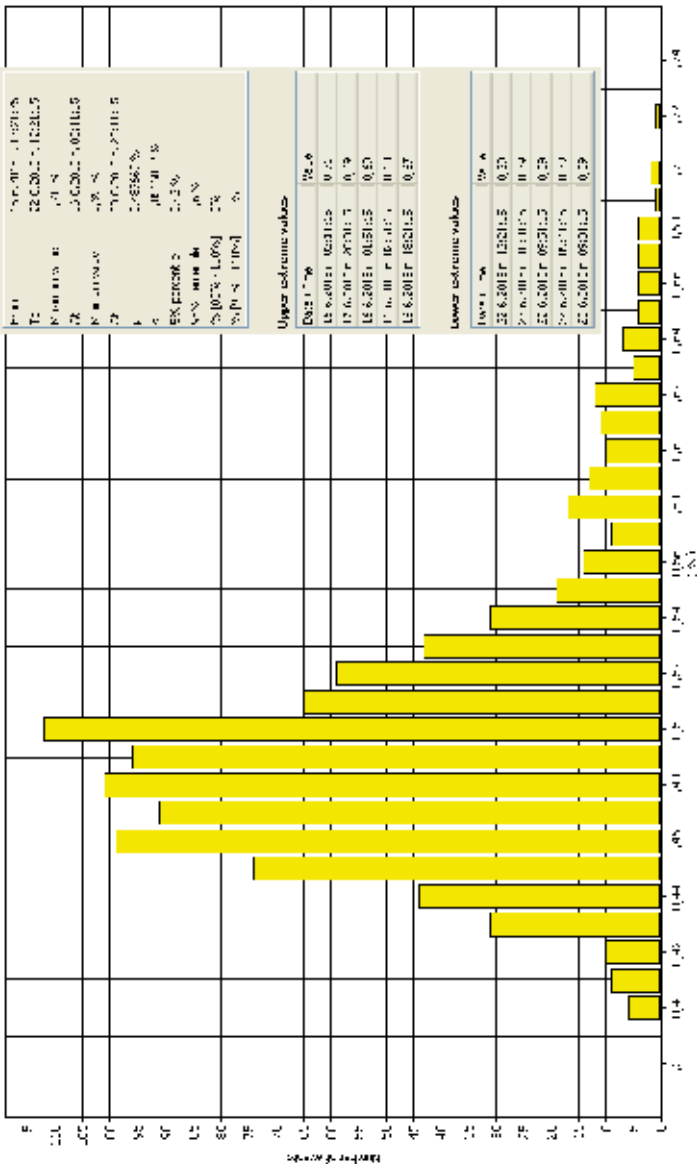
**Фиг.4.** Небаланс в напрежението 110kV – ГПП 110/20/6

Резултатите от статистическата обработка на данните са показани на фиг.5. Получени са следните резултати:

- максимална регистрирана стойност на  $K_{2u}$  - 0,71%;
- минимална регистрирана стойност на  $K_{2u}$  - 0,39% ;
- средна стойност на  $K_{2u}$  - 0,488%;
- средно квадратично отклонение - 0,052%.
- 5%-тия процентил е 0,42%; ( 5% процентил показва, че 5% от данните в извадката са под 0,42%);
- 95%-тия процентил е 0,6%. (95%-тия процентил показва, че 95% от данните в извадката са под 0,6%).



LN (Lobster) - 100000



Фиг. 5

### **Отклонение и колебание на напрежението**

Колебанията на напрежението се определят от динамиката на тока на натоварване [7,8]. Друг параметър, който определя отклонението на напрежението, е динамично генерираната реактивна мощност и скоростта, с която тя се компенсира [6,11]. Отклонението на напрежението или както е дефинирано в БДС EN 50160 бавно изменение на напрежението е измерено в съответствие с изискванията на IEC 61000-4-30:2008. Измерва се ефективната стойност на линейните напрежения и се осредняват на 10 минутен интервал. Измерването продължава една седмица, като се натрупват 1008 времеви интервала, всеки по 10 минути. На тази база са установени нормите за отклонение на напрежението –положителното и отрицателното отклонение на напрежението в точката на предаване на електрическата енергия не трябва да превишава 10% от номиналното или съгласуваното напрежение в продължение на 100% от времевия интервал от една седмица.

В продължение на една седмица са измерени и обработени данните за линейните напрежения АВ, ВС и СА. На фиг. 6 са илюстрирани резултатите от статистическата обработка на данните от измерването на линейното напрежение АВ.

От обработените данни за линейното напрежение АВ са определени:

$U_{m+}$  – максимална регистрирана стойност на линейното напрежение – 120,802 kV;

$U_{m-}$  – минимална регистрирана стойност на линейното напрежение – 118,305 kV;

$\mu$  – средна стойност на линейното напрежение – 119,622 kV;

$s$  – средно квадратично отклонение – 0,475 kV.

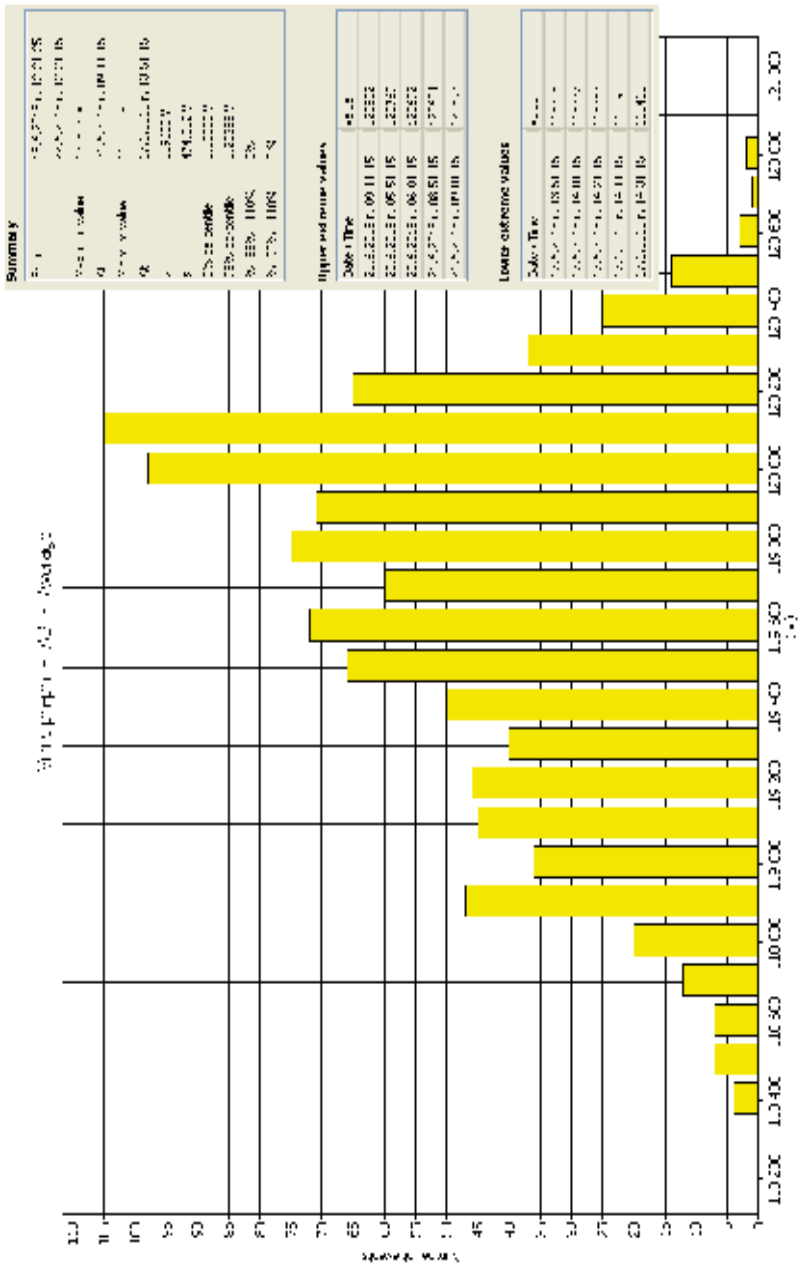
- 5% процентил е 118,8 kV;

- 95%-тия процентил е 120,3 kV.

Отклонението на напрежението е само в положителна посока и за максималната регистрирана стойност е:

$$\delta U_{(+)} = [(U_{m(+)} - U_0)/U_0] \cdot 100 = [(120,802 - 110)/110] \cdot 100 = 9,82 \%$$

Това отклонение не надвишава допустимите стойности, съгласно нормативните документи.



Фиг.6

В таблица 2 са обобщени данните от статистическата обработка за трите линейни напрежения.

**Таблица 2**

Фази	Um+, kV	Um-, kV	μ, kV	s, kV	5%	95%	ΔU+, %
AB	120,802	118,305	119,622	0,475	118,8	120,3	9,82
BC	120,615	118,151	119,454	0,461	118,7	120,1	9,65
CA	120,802	118,305	119,622	0,475	118,8	120,3	9,82

Данните в таблица 2 показват много добри показатели по отношение на отклонението на напрежението. За целия период на измерване са регистрирани почти съвпадащи стойности на всички показатели. Потвърждава се и регистрираната по-горе добра симетрия на напрежението. Подобни резултати са публикувани и в [5,12].

### **Отклонение на честотата**

Показател за качеството на електрическата енергия по отношение на честотата е отклонението на стойностите на основната честота на захранващото напрежение от номиналната стойност.

$$\delta f = f_m - f_{nom}$$

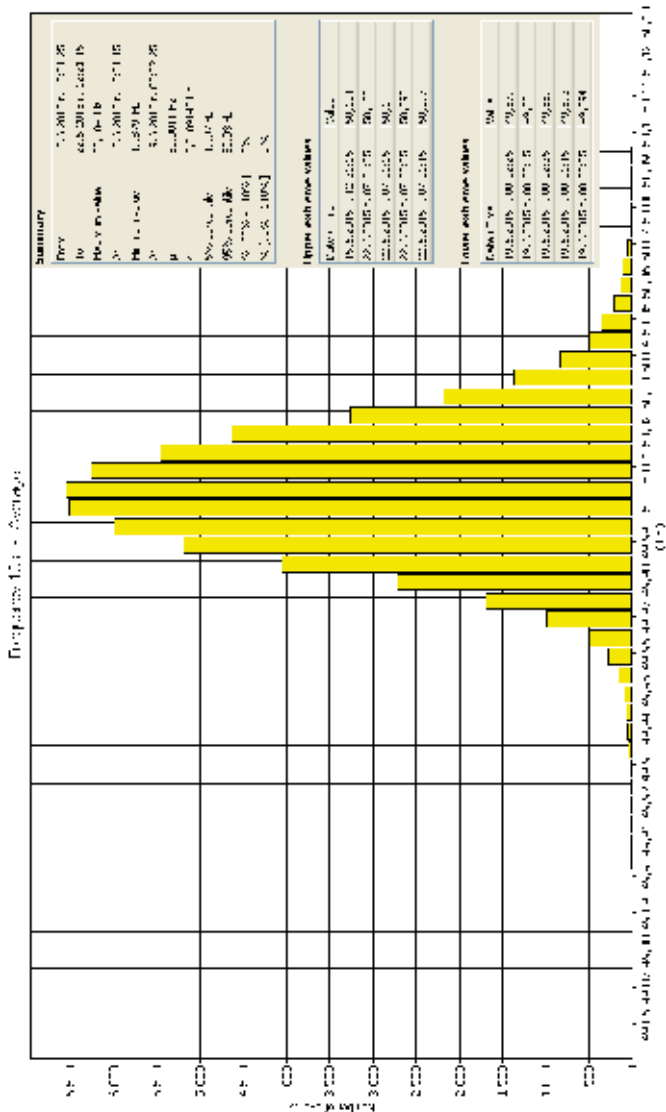
където:  $\delta f$  – отклонение на честотата;

$f_m$  – стойност на основната честота на захранващото напрежение, измерена в интервал от 10 s;

$f_{nom}$  – номинална стойност на честотата на захранващото напрежение - 50 Hz.

За указания показател за качество на електроенергията са установени следните норми:

- отклонението на честотата в синхронизираните системи на електроснабдяване не трябва да надвишава  $\pm 0,2$  Hz в продължение на 95 % от времето на една седмица и  $\pm 0,4$  Hz – в течение на 100% от времето на една седмица.



Фиг.7

Резултатите от едноседмичния измервателен период са обработени статистически и са дадени на фиг.7. От получените резултати се вижда голямата стабилност на честотата на захранващото напрежение 110 kV. Максималното отклонение на

честотата за 100% от времевия интервал на една седмица в положителна посока е +0,104 Hz, а в отрицателна посока – 0,121.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

От направените изследвания може да се направят следните изводи:

- В минното предприятие, обект на изследването, основната част регулируеми задвижвания са на средно и ниско напрежение. Силовите трансформатори оказват филтриращо действие и на страна 110kV се наблюдават малки хармонични изкривявания. Подобни са и изводите, направени в [4,10].

- Небалансът в напрежението е около 0,5%, което напълно допустимо.

- Отклонението на захранващото напрежение е около 10%, което напълно се покрива от регулиращите възможности на янсените регулатори.

## **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. Лаков Н., Отклонение на напрежението, Списание Енергиен форум, бр. 37/38, 2020, стр. 42-46
4. Стоилов, Ив., К. Джустров, Изследване на висшите хармоници в електрическите мрежи на минни предприятия.- Енергиен форум 2005, Варна, том 2, 213-219.
5. Стоилов, Ив., К. Джустров., Т. Николов, Изследване отклонението и несиметрията на напрежението при работа на мощни електроудъгови стоманодобивни пещи, Годишник на Минно-геоложкия университет „Св. Иван Рилски, Том58, Св. III, 2015, 70-77
6. Balan R, Maties V, Hancu O, Modeling and control of an electric arc furnace, et al. Control & Automation, Mediterranean

- Conference on MED'07 (Athens, Greece, July 27 - 29), 2007, 1-6
7. Elbasuony G. S., Aleem S. H. E. A., Ibrahim A. M. and Sharaf A. M., „A unified index for power quality evaluation in distributed generation systems' Energy 149 607-622, 2018
  8. Илиев, И., Въвеждане на интелигентни измервателни системи в България- фактор за подобряване качеството на електрическата енергия. стр.222-228, сборник Енергиен форум НТСЕБ 18-20 юни 2014г. ISSN 2367-6728
  9. Илиев, И., Икономическа целесъобразност от въвеждането на интелигентни измервателни системи в България като фактор за подобряване качеството на електрическата енергия. стр.229-235, сборник Енергиен форум НТСЕБ 18-20 юни 2014г., ISSN 2367-6728
  10. Киров, Р., Гюров, В., Найденов, Н., Илиев, И., Изследване на енергетичните характеристики и качеството на електрическата енергия в електроснабдителната система на „Евроманган“ АД. стр.59-63, Списание Енергиен форум, брой 15/16, юни 2015г., ISSN 2367-6728
  11. Илиев, И., Влияние на консуматорите върху качеството на електрическата енергия с генериране на висши хармоници. стр.55 сборник част втора Енергиен форум НТСЕБ 22-25 юни 2016г., ISSN 2367-6728
  12. Илиев, И., Икономически щети от ниско качество на електрическата енергия. стр.59 сборник част втора Енергиен форум НТСЕБ 22-25 юни 2016г., ISSN 2367-6728
  13. Илиев, И., Критичен анализ на проблемите свързани с влияние на външни консуматори върху качеството на електрическата енергия, „Научно-технически съюз на енергетиците в България“ Енергиен форум 2017, стр. 136-143, гр.София, ISSN 2367-6728

## **АВТОР**

доц. д-р Кирил Джустров, МГУ “Св. Иван Рилски”