

# ИЗПОЛЗВАНЕ ВЪЗМОЖНОСТИТЕ НА ИЗОБРАЗЯВАЩИЯ ВЕКТОР НА ТОКА ЗА КАЧЕСТВЕНА ОЦЕНКА ПРИ РАБОТА НА МОЩЕН НЕУПРАВЛЯЕМ ИЗПРАВИТЕЛ

Гинко Георгиев  
Бургаски свободен университет

*Анотация:* В доклада са представени експериментални резултати от реални заснемания на изобразяващия вектор на тока и фазните токове при работа на мостов изправител, захранван от синхронен генератор. Доказано е, че изобразяващият вектор е мощен инструмент който може да послужи за бърза качествена оценка на процесите и явленията които се пораждат в такава електроснабдителна система.

*Ключови думи :* изобразяващ вектор, THD, висши хармоници

## USING THE CAPABILITIES OF THE SPACE VECTOR OF CURRENT FOR ASSESSMENT OF QUALITY WHEN OPERATING A POWERFUL RECTIFIER

*Ginko Georgiev*  
*Burgas Free University*

*Abstract:* The experimental results from the space vector on the current and phasing current when working on the rectifier bridges are presented. It has been proven that the space vector is a powerful tool that can serve as a qualitative assessment on the process and the phenomena in such a power supply system.

*Keywords:* space vector, THD, harmonics

### **Въведение.**

В съвременното корабно електрообзавеждане все повече се налагат честотните инвертори (регулатори). Използват се за управление на въздухоподаването при управление на горивния процес на мощни котли, за изменение производителността на разтоварните помпи на танкерите, при швартови операции и т.н. Това е така поради широките възможности които предлагат при различните режими на работа – пускови и установени, в корабната електроенергийна система. На входа на всеки честотен регулатор има изправителен мост обикновено свързан в схема „Ларионов”. Ето защо е необходимо да се познават явленията които възникват при работа на мощен изправител, захранван от синхронен генератор.

**Приложение на изобразяващия вектор за оценка смущенията предизвикани в тока при работа на мостов изправител.**

Класическите подходи свързани с анализ и оценка на електроенергийните процеси в трифазните системи са свързани с реализиране на зависимости между напреженията, токовете и съответните електрически импеданси в трифазната система „a, b, c” т.е. с уравнения за всяка фаза от трифазната система. За намаляване броя на уравненията от три на едно и с цел рационализиране на подходите за оценка на процесите в трифазните системи се реализира така нареченият „изобразяващ вектор” (например за тока) [л.1,2,3]

$$\bar{I}(t) = \frac{2}{3}(i_a + ai_b + a^2i_c) \quad (1)$$

Където:  $i_a, i_b, i_c$  - представляват моментните стойности на токовете съответно във фаза a, b, и c

$$a, a^2 - \text{оператори: } a = e^{j\frac{2\pi}{3}}; a^2 = e^{j\frac{4\pi}{3}}$$

При определяне на изобразяващия вектор  $\bar{I}(t)$  за изменението на токовете  $i_a, i_b$  и  $i_c$  във времето няма никакво ограничение, но тези токове трябва да удовлетворяват задължително следното условие:

$$i_a + i_b + i_c = 0 \quad (2)$$

Между „изобразяващия вектор” (например тока) и моментните му стойности, както и между моментните стойности и „изобразяващия вектор”, съществува права и обратна еднозначна зависимост. Това означава, че ако са известни моментните стойности, то „изобразяващия вектор” е еднозначно определен и обратно, ако е известен „изобразяващия вектор” то еднозначно са определени моментните стойности които го формират. В случаите когато имаме преобразуване на трифазна променливотокова система в еднофазна по постоянен ток, посредством трифазни преобразуватели (изправители), то „изобразяващия вектор” на тока  $\bar{I}(t)$  се определя от израза:

$$\bar{I}(t) = \bar{I} I_d \quad (3)$$

Където:  $\bar{I}$  - представлява „изобразяващия вектор” на превключващата функция т.е.

$$\bar{I} = \frac{2}{3}(F_a + aF_b + a^2F_c) \quad (4)$$

при което  $F_a, F_b, F_c$  - представляват логически превключващи функции, които могат да имат значения 1; -1; 0,  $I_d$  – големината на изправения ток. Зависимост (1) определяща „изобразяващия вектор” при синусоидален и симетричен характер на токовете  $i_a, i_b$  и  $i_c$  придобива вида в координатна система „abc”

$$\bar{I}_{abc}(t) = |\bar{I}| e^{j\omega t} \quad (5)$$

където:  $|\bar{I}|$  - представлява модула (големината) на „изобразяващия вектор”, който при случай на пълна симетрия в токовата система е равен на:

$$|\bar{I}| = I_m \quad (6)$$

при което:  $I_m$  - представлява амплитудната стойност на фазните токове.

$\omega$  – това е кръговата честота с която се върти „изобразяващия вектор”

„Изобразяващия вектор”, представен в неподвижна ортогонална система „ $\alpha\beta$ ” може да се запише във вида:

$$\bar{I}(t)_{\alpha\beta} = |\bar{I}|_{\alpha\beta} e^{j\alpha} = |\bar{I}|_{\alpha\beta} e^{j\alpha(t)} \quad (7)$$

където:  $|\bar{I}|_{\alpha\beta}$  - модула на вектора представен в „ $\alpha\beta$ ” т.е.

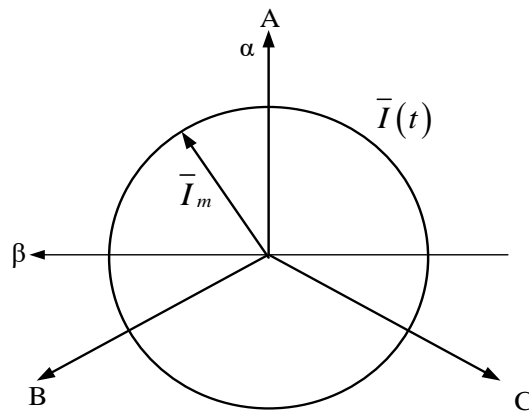
$$|\bar{I}|_{\alpha\beta} = \sqrt{i_\alpha^2 + i_\beta^2}$$

-  $\alpha(t)$  представлява фазата на вектора.

Тук ортогоналните токове  $i_\alpha$  и  $i_\beta$  се определят от фазните  $i_a, i_b$  и  $i_c$  съгласно равенствата:

$$\begin{aligned} i_\alpha &= i_a \\ i_\beta &= \frac{i_b - i_c}{\sqrt{3}} \end{aligned} \quad (8)$$

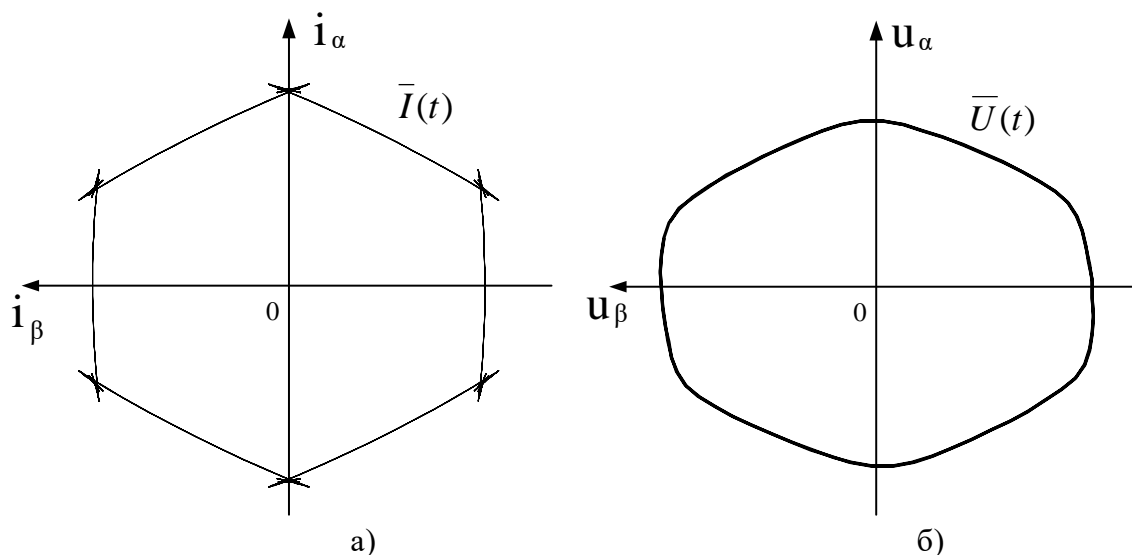
Графичната интерпретация на „ $\bar{I}(t)$ ” и неговия ходограф при симетричен и синусоиден режим е представен на фиг.2



фиг.1

В случай на пълна симетрия и отсъствие на висши хармоници ходографа на „изобразяващия вектор” представлява окръжност с радиус равен на „ $I_m$ ”.

Тогава, когато в електроенергийната система е включен мощен преобразувател (изправител) и той се явява нелинеен потребител генериращ висши хармоници, то характера на ходографите на тока и напрежението имат вида посочен на фиг. 4



Фиг 2

От фиг. 2а и фиг. 2б се вижда в обобщен вид (като ходограф), че съответните електрически величини ток и напрежение обзримо се различават от тези, когато в енергийната система няма смущения.

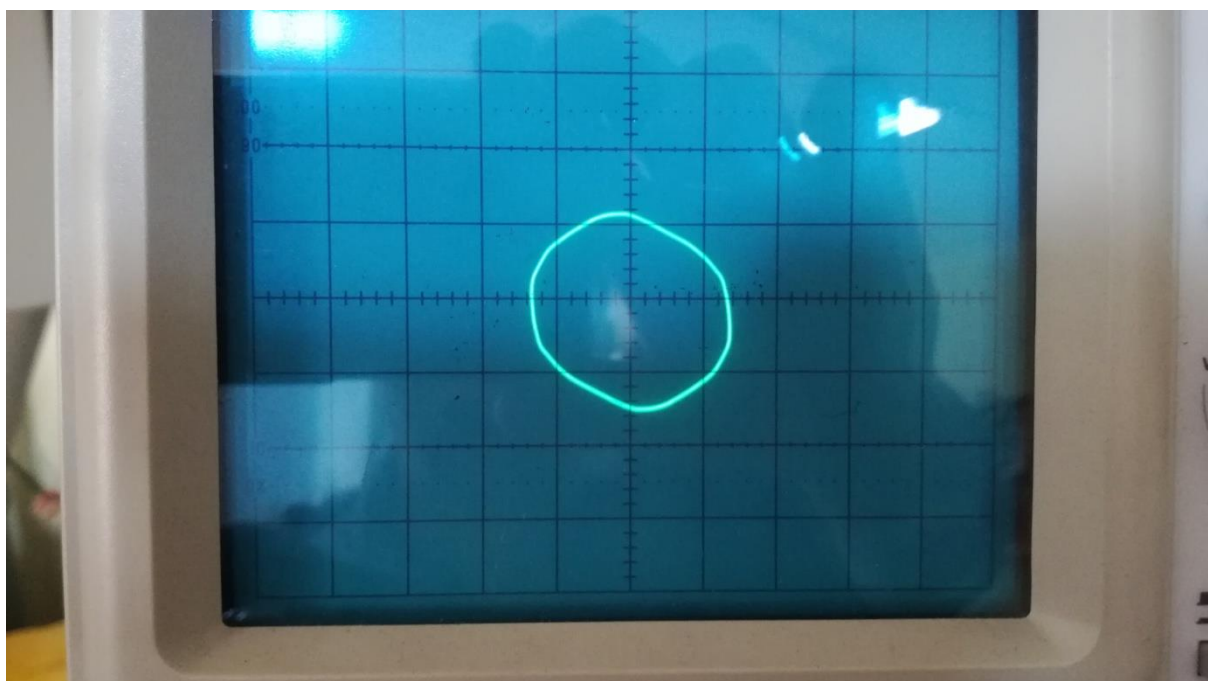
**Описание на схемата за изследване.**

Синхронен генератор захранва мостов изправител свързан в схема Ларионов с RL товар. Токовете и напреженията се следят от мрежов анализатор. Освен това през токовете трансформатори трифазната система abc се преобразува в двуфазна  $\alpha\beta$  и ходографа на изобразяващия вектор на тока се наблюдава на осцилоскоп. Изследванията са направени за две стойности на товарния ток и по три различни анодни индуктивности за всяка от тях.

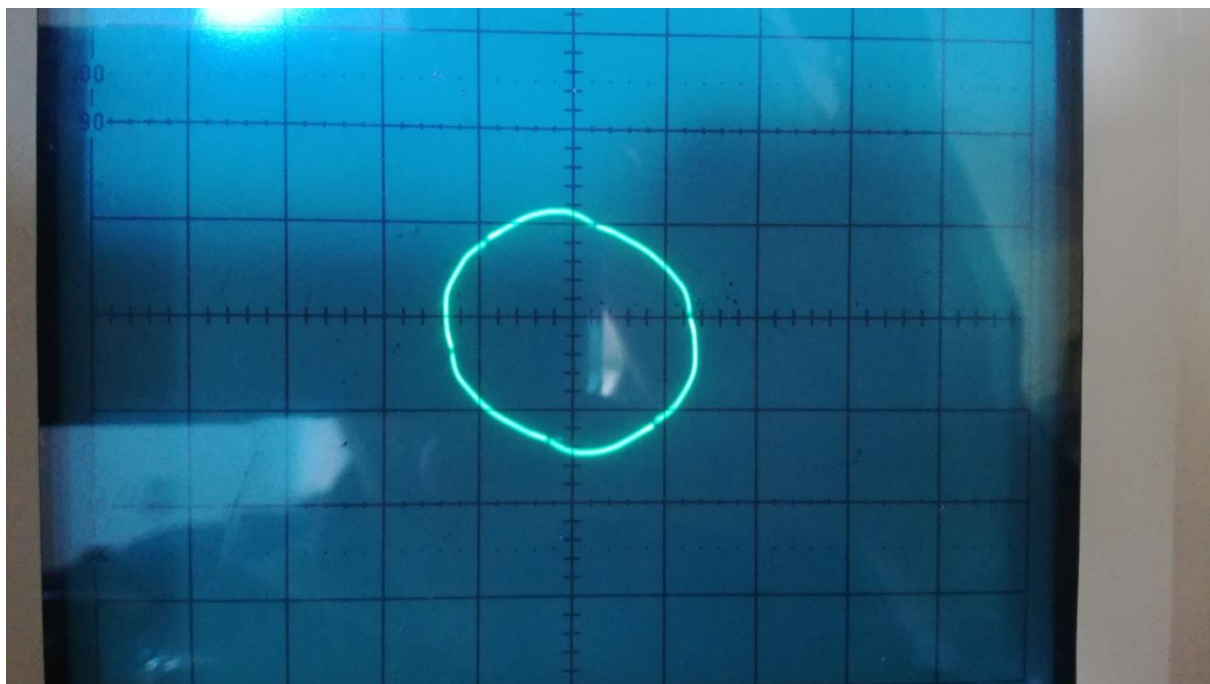
**Резултати от изследванията:**

I. Осцилограми на напреженията

На фиг. 3, фиг.4 и фиг.5 са показани осцилограми на ходографи на изобразяващия вектор на напрежението, съответстващи на фиг. 2б. Заснети са при три различни стойности на товарния ток.



Фиг.3. Ходограф на изобразяващия вектор на напрежението на празен ход.



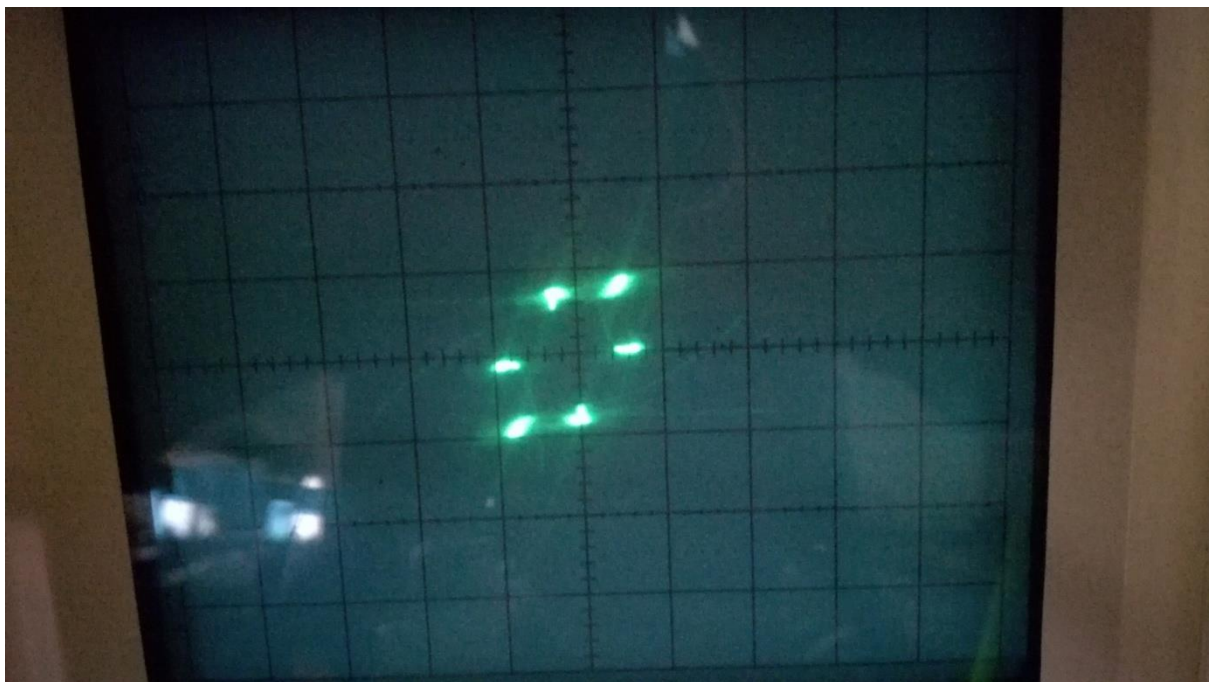
Фиг.4 Ходограф на изобразяващия вектор на напрежението при 50% натоварване



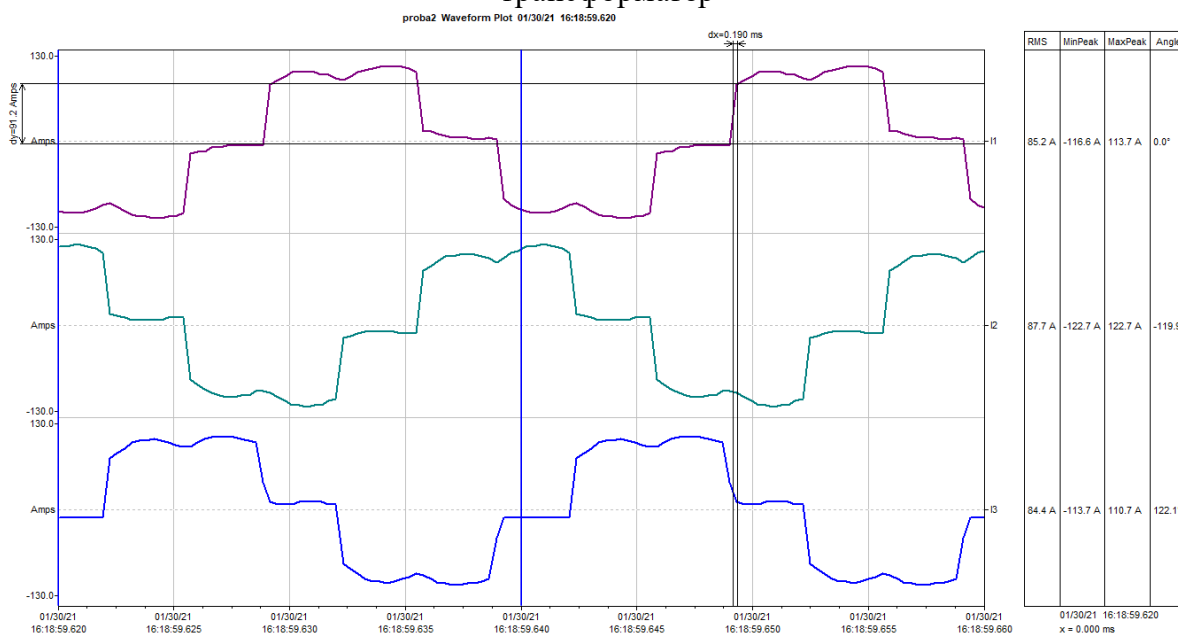
Фиг.5 Ходограф на изобразяващия вектор на напрежението при номинално натоварване

II. Осцилограми на токовете.

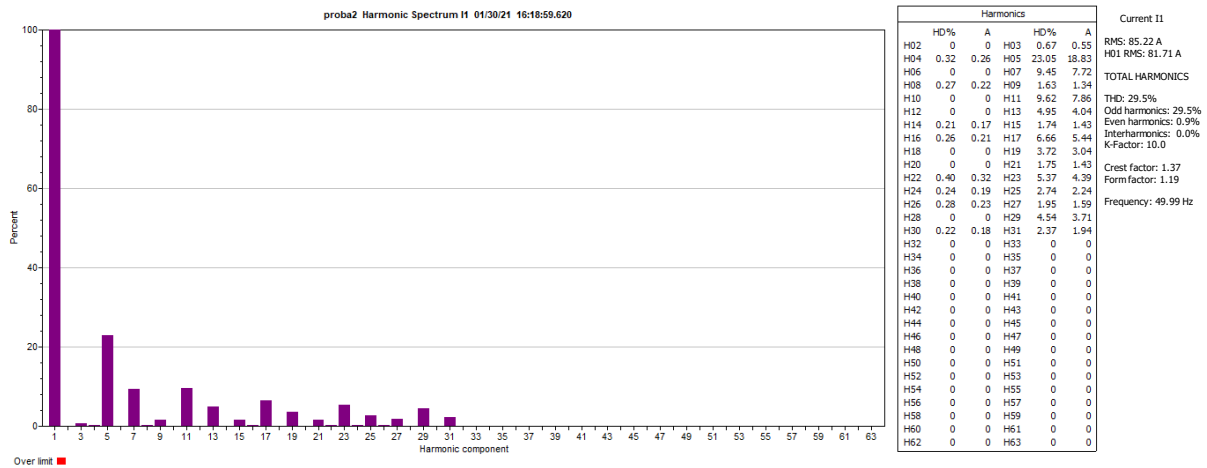
На следващите фигури са показани осцилограми на изобразяващия вектор на тока и записи от мрежовия анализатор на съответните фазни величини.



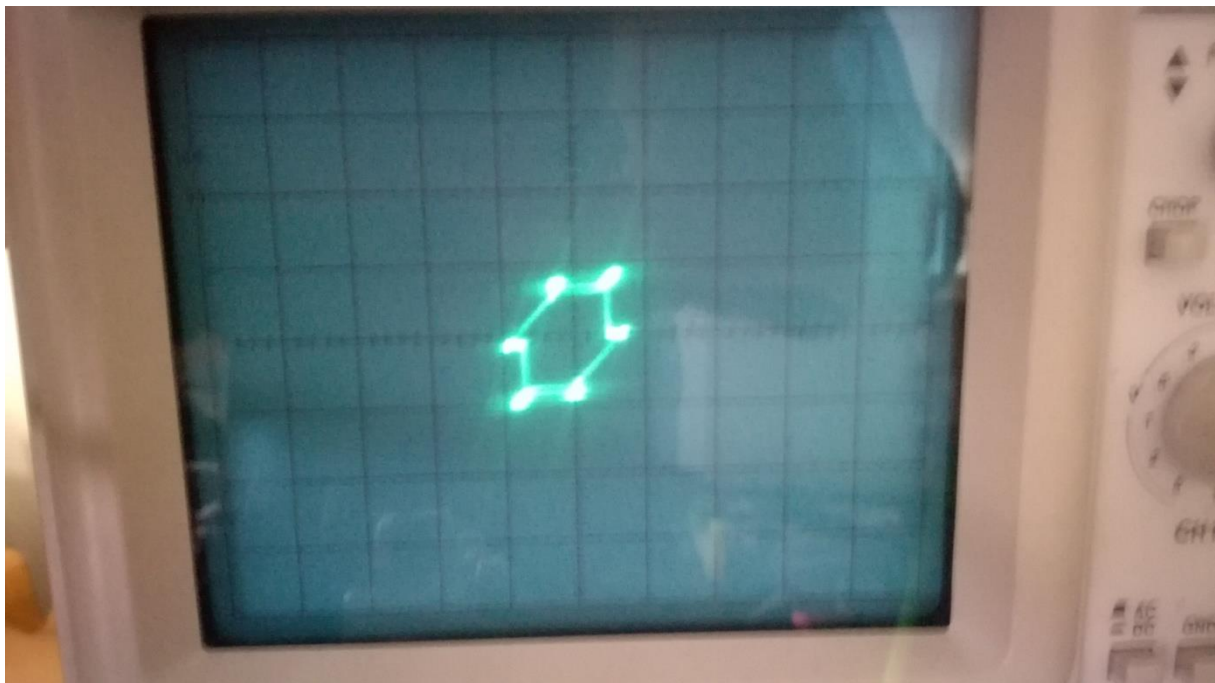
Фиг.6 Ходограф на изобразяващия вектор на тока без съгласуващ захранващ трансформатор



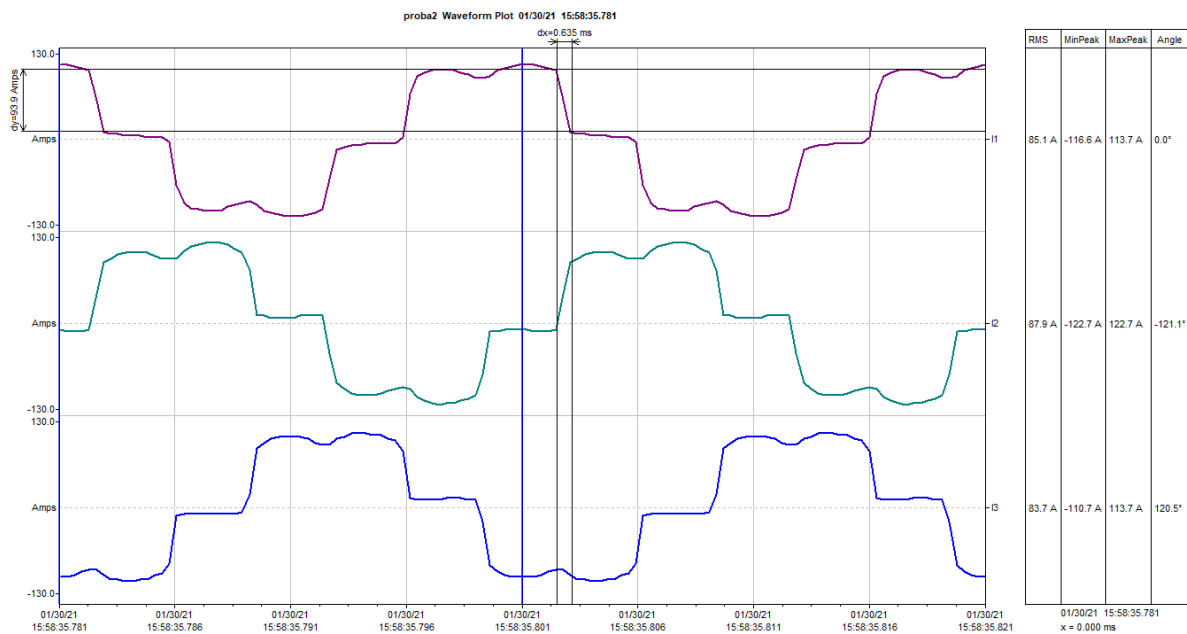
Фиг.7 Фазни токове, съответни на фиг.6



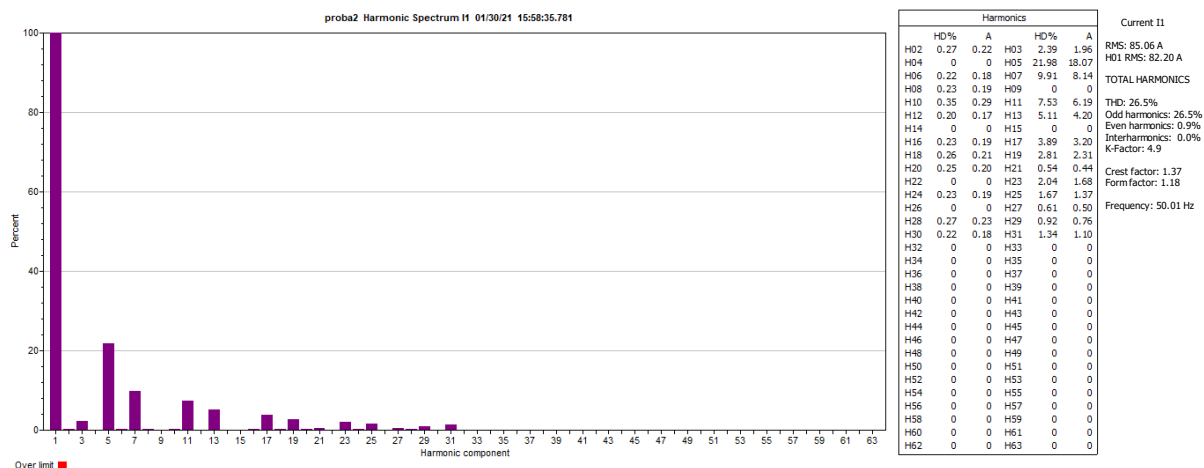
Фиг.8 Спектрален анализ на токовете от фиг.7 с висши хармоници.



Фиг.9 Ходограф на изобразяващия вектор на тока със съгласуващ трансформатор



Фиг.10 Фазни токове, съответни на фиг.9



Фиг.11 Спектрален анализ на токовете от фиг.10 с висши хармоници

**Изводи:**

1. Заснетите осцилограми доказват еднозначната математическата връзка между изобразяващия вектор и фазните величини.
2. Показано е, че посредством ходографите на изобразяващия вектор на напрежението и тока може да се направи бърза качествена оценка на процесите и явленията които са характерни за електрически системи в които има мощни изправители.
3. Полученият спектрален анализ на токовете съответства напълно на очаквания каноничен порядък на генерираните висшите хармоници.

## Литература

1. Георгиев Г. А. „Изследване на възможности за въздействие върху енергийната ефективност в корабни електроенергийни системи” Дисертация Варна 2012 г.
2. Петков П.Д. „Изследване на възможността за корекция на напрежението в автономна ел. станция при включен към нея мощен изправител посредством прилагане на импулсни въздействия” Дисертация Варна 1983 г.
3. Димитров Д.М. „Разработка на технология и технически средства за повишаване на енергийната ефективност в корабни електроенергийни системи” Дисертация Варна 2016 г.
4. Дрекслер Р. „Измерение и оценка качества електроенергии при несиметричной и нелинейной нагрузке” Москва „Энергоатомиздат” 1990
5. Стандарт EN 611000-2-42004 Нива на съвместимост за нискочестотни кондуктивни смущения в премишлените предприятия.
6. K. Seymenliyski, T. Zanev, P.Rahnev, S. Letskovska, M. Uscheva, The influence of power converters built with power semiconductor devices on the quality of the electrical energy, XXXIX International Scientific Conference on Information, Communication and Energy Systems and Technologies, 16–19 june, 2004, Bitola, Makedonia, ISBN: 9989-786-38-0, Proceedings of Papers p. 799-803, Printed by: MIKENA, Bitola, Macedonia.
7. Stoyanka Mollova, Radoslav Simionov, Kamen Seymenliyski, A Study of the Energy Efficiency of a Computer Cluster, ICTRS '18, October 8–9, 2018, Barcelona, Spain ISBN: 978-1-4503-6580-2, <https://doi.org/10.1145/3278161.3278168>, Proceedings of the Seventh International Conference on Telecommunications and Remote Sensing, p. 51-54; Scopus