

UDC 621.317.4

SCOPUS CODE 2105

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2019-4-108-117>

სამფაზა სინუსოიდური ცვლადი დენის ქსელის დიაგნოსტიკის შესახებ

შოთა ნემსაძე ელექტროტექნიკისა და ელექტრონიკის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 75
E-mail: sh-nemsadze@mail.ru

მერაბ ცეცხლაძე ელექტროტექნიკისა და ელექტრონიკის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 75
E-mail: merabi.tsetskhladze@mail.ru

რეცენზენტები:

თ. კობხრიძე, სტუ-ის ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციების ფაკულტეტის პროფესორი
E-mail: Kthamaz@gmail.com

დ. ტურძელაძე, სტუ-ის ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციების ფაკულტეტის პროფესორი
E-mail: Turdzeladze59@gmail.com

ანოტაცია. დადგენილია, რომ ქსელთან მძლავრი არაწრფივი დატვირთვების, მაგალითად, ელექტრორკალური ღუმლების მიერთებისას, ადგილი აქვს მაღალი რიგის ჰარმონიკების წარმოშობას, ქსელის ძაბვის დამახინჯებას და მოწოდებული ელექტრული ენერჯიის ხარისხის გაუარესებას. სამრეწველო დაწესებულებებში არაწრფივი მახასიათებლების მქონე ელექტრომიმღებების ხვედრითი წილის არსებითად გაზრდამ არასინუსოიდური რეჟიმების გაზომვის, ანალიზისა და მოდელირების აუცილებლობა განაპირობა. ელექტრომიმღებების სისტემაში უმაღლესი ჰარმონიკების არსებობა განაპირობებს დენგამტარ ნაწილებში დამატებით კარგვებს, ელექტრომიმღებების სისტემის ელემენტების მომსახურების ვადის შემცირებას, დენგამტარი ნა-

წილების გადახურებას. აღნიშნული ნეგატიური შედეგები განაპირობებს ცალკეული ელექტრომიმღებების და მთლიანად ელექტრომიმღებების სისტემის ენერგეტიკული ეფექტურობის შემცირებას. ნაშრომში ნაჩვენებია სამფაზა ძაბვების სიმეტრიული სისტემის ორფაზა ძაბვების სისტემად გარდაქმნა. ნაჩვენებია ქსელის სამფაზა ძაბვის სიმეტრიულობის დადგენაში პარკის ძაბვის ვექტორის ჰოდოგრაფის ანალიზის მნიშვნელობა, მისი აგების მეთოდიკა და ამისათვის პროგრამა LabVIEW-ში ფუნქციის შესაბამისი გრაფიკის XY Graph ბლოკის საშუალებით აგების ეფექტურობა.

საკვანძო სიტყვები: ასიმეტრიული სისტემა; ვექტორის ჰოდოგრაფი; მკვებავი ქსელი; პროგრამა; სამფაზა სიმეტრიული ძაბვების სისტემა; LabVIEW.

შესავალი

ელექტრულ მოწყობილობათა საიმედო და ეფექტური მუშაობა მნიშვნელოვნად არის განპირობებული მკვებავი სამფაზა ცვლადი დენის ქსელის ტექნიკურ მდგომარეობაზე, თუ რამდენად შეესაბამება სამფაზა ძაბვების სისტემა არსებული სტანდარტის მოთხოვნებს სიმეტრიულობის თვალსაზრისით. ეს მოთხოვნები ზოგჯერ არ არის სრულად შესრულებული სხვადასხვა მიზეზის გამო. კერძოდ, ელექტრული ენერჯიის გენერაციისა და გადაცემის ტექნიკური პირობების თვალსაზრისით, ქსელში ჩართულია მძლავრი მნიშვნელოვნად არაწრფივი დატვირთვები, მაგალითად, ელექტრორკალური ღუმელები, რის გამოც ადგილი აქვს ქსელის ძაბვების ამპლიტუდურ-ფაზურ დამახინჯებებს. ამ შემთხვევაში მკვებავი ქსელი ფაქტიურად არის ასიმეტრიული სამფაზა ძაბვის წყარო, რაც მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს მომხმარებელთა ტექნიკურ-ეკონომიკურ მაჩვენებლებზე რაც იწვევს ყველა ნეგატიურ შედეგს.

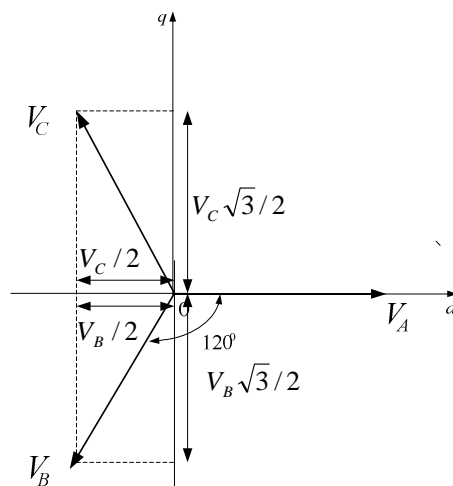
ელექტრული ენერჯიის მომხმარებელთა ხარისხიანი ელექტრული ენერჯიით უწყვეტ და საიმედო უზრუნველსაყოფად აუცილებელია მკვებავი ქსელის ტექნიკური დიაგნოსტიკა, რომელიც გულისხმობს პარამეტრების უწყვეტ გაზომვას და სეპროცესის პროგნოზირებას, ქსელის ტექნიკური მდგომარეობის შეფასებას.

ნებისმიერ ელექტრომოწყობილობაში არის ელექტროსაიზოლაციო გარემო, წარმოდგენილი ამა თუ იმ სახის დიელექტრიკით, რომლის ტექნიკური კონდიცია განსაზღვრავს მოწყობილობის საიმედო მუშაობას, მის დარჩენილ საექსპლუატაციო რესურსს. ექსპლუატაციის პროცესში იზოლაცია

ხანგრძლივად იმყოფება მუშა ძაბვის ქვეშ და განიცდის გადაძაბვების მრავალჯერად ზემოქმედებას, დატენიანებას, თერმულ და მექანიკურ ზემოქმედებას ვიბრაციის ან მექანიკური დარტყმების სახით. მნიშვნელოვნად გართულდა მათი ექსპლუატაცია და საჭირო შეიქმნა მოწყობილობათა ტესტირების, დიაგნოსტიკის ახალი მეთოდებისა და საშუალებების ანუ დიაგნოსტიკის თანამედროვე სისტემების შემუშავება.

ძირითადი ნაწილი

დღეისათვის ცნობილია ელექტრული ქსელების დიაგნოსტიკის რამდენიმე მეთოდი. მათ შორისაა: მეთოდი, დამყარებული ქსელის ელექტრული პარამეტრებისა და მუშაობის რეჟიმებისათვის დამახასიათებელი ელექტრული სიდიდეების (ძაბვა, დენი, სიმძლავრეები), გაზომვასა და მიღებული შედეგების ანალიზზე; მეთოდი, დამყარებული ელექტრული იზოლაციის პარამეტრების გაზომვაზე და სხვა.



სურ. 1. სამფაზა ძაბვების ვექტორული დიაგრამა მართკუთხა q-0-d სისტემასთან ერთად

ყურადღებას იმსახურებს მეთოდი, რომელიც ემყარება პარკის ძაბვის ვექტორის ჰოდოგრაფის ანალიზის შედეგებზე. ამ მეთოდის გამოსაყენებლად საჭიროა სამფაზა ძაბვების სიმეტრიული სისტემა:

$$\begin{aligned} v_A &= V_m \sin \omega t, \\ v_B &= V_m \sin(\omega t - 120^\circ), \\ v_C &= V_m \sin(\omega t - 240^\circ) \end{aligned} \quad (1)$$

გარდავქმნათ ორფაზა ძაბვების v_d , v_q სისტემად, რისთვისაც სამფაზა ძაბვების

ამსახველი ვექტორები, ნაჩვენები 1-ელ სურათზე დავაგეგმილოთ მართკუთხა $q - 0 - d$ კოორდინატა სისტემის ღერძებზე. შევუთავსოთ v_A ვექტორი კოორდინატა $0 - d$ ღერძს. შედეგად პარკის ვექტორის გეგმილებისათვის გვექნება

$$\begin{aligned} v_d &= v_A - \frac{1}{2}v_B - \frac{1}{2}v_C, \\ v_q &= 0 - \frac{\sqrt{3}}{2}v_B + \frac{\sqrt{3}}{2}v_C. \end{aligned} \quad (2)$$

სამფაზა სინუსოიდური სიმეტრიული ძაბვების სისტემისათვის ეს გეგმილები იქნება

$$v_d = \frac{3}{2}V_m \sin \omega t, \quad v_q = \frac{3}{2}V_m \cos \omega t \quad (3)$$

და პარკის ძაბვის ვექტორის მოდულისათვის მივიღებთ:

$$V = \sqrt{v_d^2 + v_q^2}, \quad (4)$$

რომლის ჰოდოგრაფი არის წრეწირი ცენტრით კოორდინატა სისტემის სათავეში.

განვიხილოთ სამფაზა სინუსოიდური არასიმეტრიული ძაბვების სისტემა:

$$\begin{aligned} v_A &= V_m \sin \omega t, \\ v_B &= \frac{1}{2}V_m \sin(\omega t - 120^\circ), \\ v_C &= V_m \sin(\omega t - 240^\circ). \end{aligned} \quad (5)$$

როგორც ვხედავთ ამ შემთხვევაში სამფაზა სისტემის ასიმეტრიულობა გამოწვეულია იმის გამო, რომ B ფაზის ძაბვის ამპლიტუდა არის A და C ფაზების ძაბვათა ამპლიტუდის ნახევარი. შესაბამისად, პარკის ძაბვის ვექტორის გეგმილებისათვის გვექნება:

$$\begin{aligned} v_d &= V_m \left[\sin \omega t - \frac{1}{4} \sin(\omega t - 120^\circ) - \frac{1}{2} \sin(\omega t - 240^\circ) \right], \\ v_q &= \frac{\sqrt{3}}{2} V_m \left[\frac{1}{2} \sin(\omega t - 120^\circ) - \sin(\omega t - 240^\circ) \right]. \end{aligned} \quad (6)$$

თუ B და C ფაზათა ამპლიტუდებია შემცირებული ორჯერ ანუ გვაქვს არასიმეტრიული სამფაზა სისტემა:

$$\begin{aligned} v_A &= V_m \sin \omega t, \\ v_B &= \frac{1}{2} V_m \sin(\omega t - 120^\circ), \\ v_C &= \frac{1}{2} V_m \sin(\omega t - 240^\circ). \end{aligned} \quad (7)$$

პარკის ძაბვის ვექტორის გეგმილებისათვის გვექნება:

$$\begin{aligned} v_d &= V_m \left[\sin \omega t - \frac{1}{4} \sin(\omega t - 120^\circ) - \frac{1}{4} \sin(\omega t - 240^\circ) \right], \\ v_q &= \frac{\sqrt{3}}{4} V_m \left[\frac{1}{2} \sin(\omega t - 120^\circ) - \sin(\omega t - 240^\circ) \right]. \end{aligned} \quad (8)$$

სამფაზა ძაბვების სისტემაში ასიმეტრია შეიძლება გამოწვეული იყოს არათანაბარი ძვრის კუთხით ფაზებს შორის. მაგალითად, ასიმეტრიული სისტემისათვის გვექნება:

$$\begin{aligned} v_A &= V_m \sin \omega t, \\ v_B &= \frac{1}{2} V_m \sin(\omega t - 90^\circ), \\ v_C &= \frac{1}{2} V_m \sin(\omega t - 240^\circ). \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} v_d &= \frac{1}{2} V_m \left[2 \sin \omega t - \sin(\omega t - 90^\circ) - \frac{1}{2} \sin(\omega t - 240^\circ) \right], \\ v_q &= \frac{\sqrt{3}}{2} V_m \left[\sin(\omega t - 90^\circ) - \sin(\omega t - 240^\circ) \right]. \end{aligned} \quad (10)$$

ასიმეტრიული სამფაზა ძაბვების სისტემისათვის ასიმეტრიული ამპლიტუდით და ფაზით

$$\begin{aligned} v_A &= V_m \sin \omega t, \\ v_B &= \frac{1}{2} V_m \sin(\omega t - 120^\circ), \\ v_C &= V_m \sin(\omega t - 210^\circ). \end{aligned} \quad (11)$$

პარკის ძაბვის ვექტორის კომპონენტები იქნება:

$$\begin{aligned} v_d &= V_m \left[\sin \omega t - \frac{1}{4} \sin(\omega t - 120^\circ) - \frac{1}{2} \sin(\omega t - 210^\circ) \right], \\ v_q &= \frac{\sqrt{3}}{2} V_m \left[\frac{1}{2} \sin(\omega t - 120^\circ) - \sin(\omega t - 210^\circ) \right]. \end{aligned} \quad (12)$$

ზოგჯერ მნიშვნელოვანია მაღალი რიგის ჰარმონიკების გავლენა ქსელის ნორმალურ ფუნქციონირებაზე. მაგალითად, სიმეტრიული არასინუსოიდური სამფაზა ძაბვების სისტემისათვის

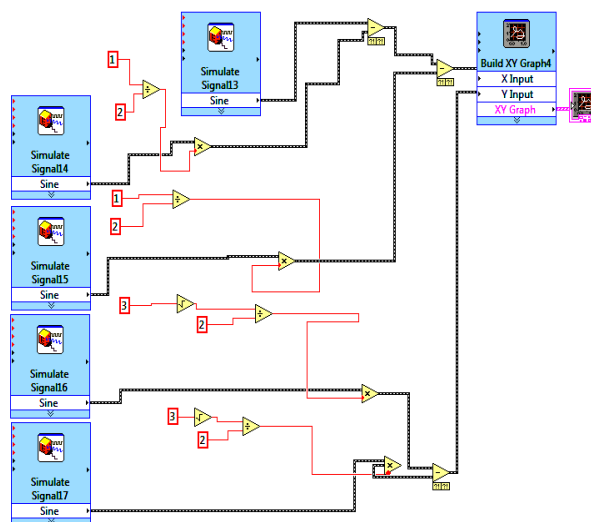
$$\begin{aligned} v_A &= V_m \sin \omega t + \frac{1}{2} V_m \sin 2\omega t + \frac{1}{3} \sin 3\omega t, \\ v_B &= V_m \sin(\omega t - 120^\circ) + \frac{1}{2} V_m \sin(2\omega t - 240^\circ) + \frac{1}{3} \sin 3\omega t, \\ v_C &= V_m \sin(\omega t - 240^\circ) + \frac{1}{2} V_m \sin(2\omega t - 120^\circ) + \frac{1}{3} \sin 3\omega t, \end{aligned} \quad (13)$$

პარკის ძაბვის ვექტორის კომპონენტები ერთი ფაზის გაწყვეტის შემთხვევაში იქნება

$$\begin{aligned} v_d &= V_m \left[\begin{aligned} &\sin \omega t + \frac{1}{2} \sin 2\omega t + \frac{1}{3} \sin 3\omega t - \frac{1}{2} \sin(\omega t - 120^\circ) - \frac{1}{4} \sin(2\omega t - 240^\circ) - \frac{1}{6} \sin 3\omega t - \\ &-\frac{1}{2} \sin(\omega t - 240^\circ) - \frac{1}{4} \sin(2\omega t - 120^\circ) - \frac{1}{8} \sin 3\omega t, \end{aligned} \right] \\ v_q &= \frac{\sqrt{3}}{2} V_m \left[\begin{aligned} &\sin(\omega t - 120^\circ) + \frac{1}{2} \sin(2\omega t - 240^\circ) + \frac{1}{3} \sin 3\omega t - \sin(\omega t - 240^\circ) - \frac{1}{2} \sin(2\omega t - 120^\circ) - \\ &-\frac{1}{3} \sin 3\omega t \end{aligned} \right] \end{aligned} \quad (14)$$

ცხადია, განხილული მაგალითები მხოლოდ კერძო შემთხვევებია და სამფაზა სისტემის სრულყოფილი ანალიზისათვის საჭიროა მათი განხილვა ფაზური ძაბვების ამპლიტუდის და ფაზის გარკვეულ დიაპაზონში ვარირება, რაც პრაქტიკულად შესაძლებელია კომპიუტერული მოდელირებით ზემოთ განხილული ფუნქციების LabVIEW-ში გრაფიკული პროგრამირებული მოდელირების საშუალებით. LabVIEW-ში გამოყენებულია გრაფიკული პროგრამირების ენა G, რომელიც გამოთვლების და

მათემატიკური მოდელირების ფართო შესაძლებლობებს იძლევა. გრაფიკული პროგრამირების ერთ-ერთი ღირსება არის ფუნქციის გრაფიკის ავტომატური და ინტერაქტიული რეჟიმის აგება, რომელშიც მონაცემთა დამუშავებისათვის და ანალიზისათვის გამოყენებულია ფუნქციური ბიბლიოთეკის ფართო ნაკრები. LabVIEW-ს გრაფიკული პროგრამირებაში ფუნქციის შესაბამისი გრაფიკის ასახვა ხორციელდება XY Graph ბლოკის მეშვეობით.

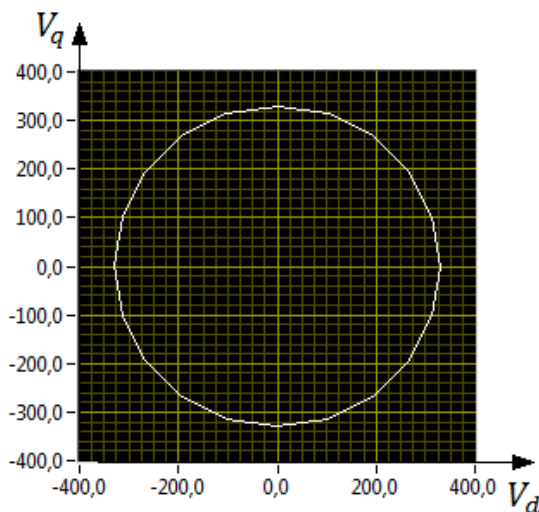


სურ. 2. გრაფიკის აგების გრაფიკული დაპროგრამების ბლოკ სქემა

ფუნქციის გრაფიკების აგება ხორციელდება შესაბამისი მათემატიკური ბლოკების გამოტანით და მათი ერთმანეთთან ლოგიკური დაკავშირების მეშვეობით ბლოკის პანელზე, რომლის ბლოკ-სქემა ნაჩვენებია მე-2 სურათზე.

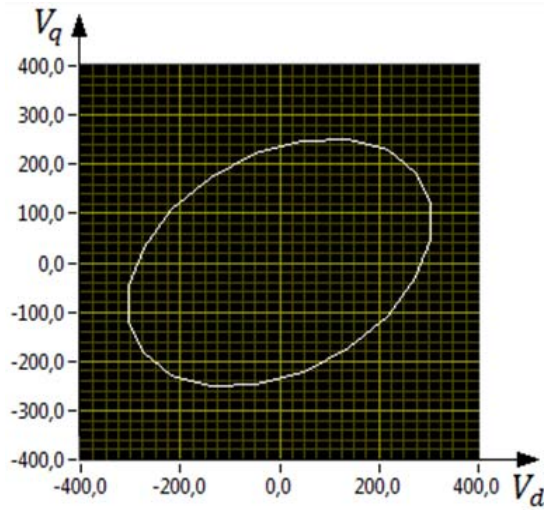
მე-3 ა,ბ,გ,დ,ე,ვ სურ-ზე ნაჩვენებია (3), (6), (8), (10), (12), (14), ფუნქციების შესაბამისი გრაფიკები

(წრეწირი, ელიფსები), აგებული განხილული მეთოდით, რომლებიც შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ძაბვების სისტემის ასიმეტრიულობის დადგენის მიზეზის (ამპლიტუდური,ფაზური,სიხშირული) დასადგენად ანუ სამფაზა წრედის დიაგნოსტიკების მიზნით.



$$V_d = \frac{3}{2} V_m \sin \omega t, V_q = \frac{3}{2} V_m \cos \omega t.$$

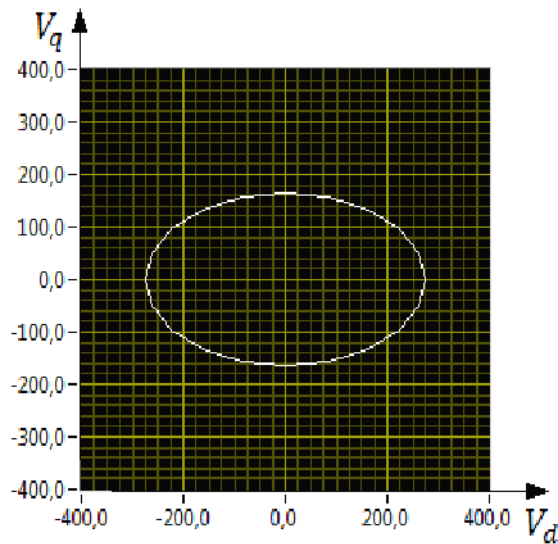
ა)



$$V_d = V_m \left[\sin \omega t - \frac{1}{4} \sin(\omega t - 120^\circ) - \frac{1}{2} \sin(\omega t - 240^\circ) \right]$$

$$V_q = \frac{\sqrt{3}}{2} V_m \left[\frac{1}{2} \sin(\omega t - 120^\circ) - \sin(\omega t - 240^\circ) \right]$$

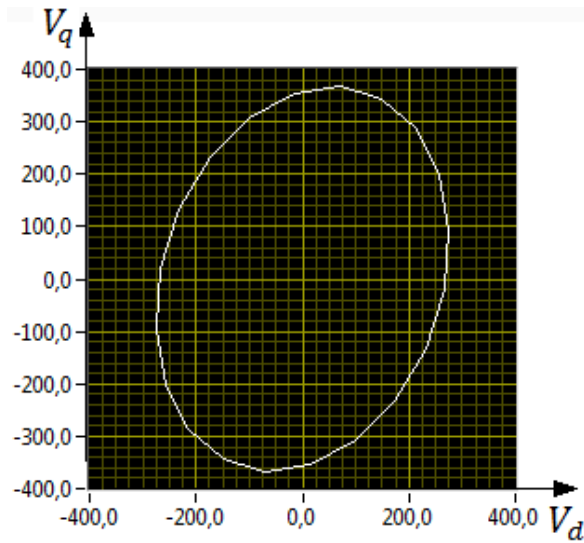
ბ)



$$V_d = V_m \left[\sin(\omega t) - \frac{1}{4} \sin(\omega t - 120^\circ) - \frac{1}{4} \sin(\omega t - 240^\circ) \right]$$

$$V_q = \frac{\sqrt{3}}{4} V_m \left[\sin(\omega t - 120^\circ) - \sin(\omega t - 240^\circ) \right]$$

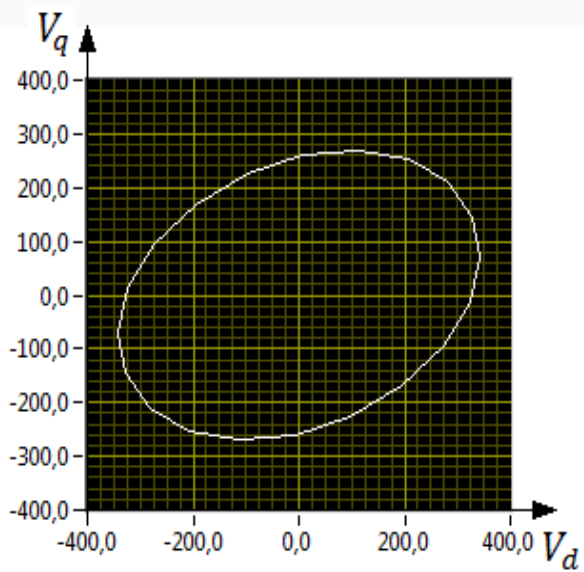
ბ)



$$V_d = \frac{V_m}{2} [2\sin(\omega t) - \sin(\omega t - 90^\circ) - \sin(\omega t - 240^\circ)]$$

$$V_q = \frac{\sqrt{3}}{2} V_m [\sin(\omega t - 90^\circ) - \sin(\omega t - 240^\circ)]$$

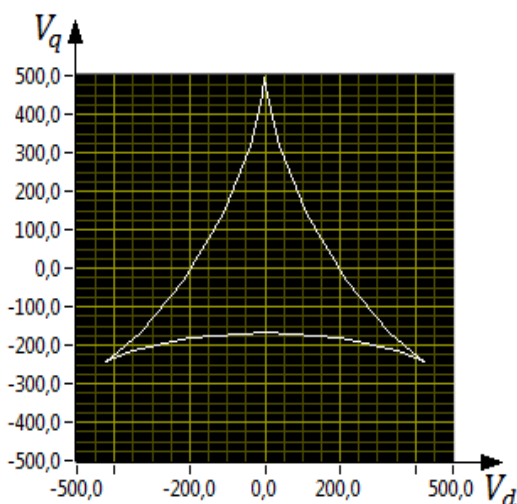
ფ)



$$V_d = V_m [\sin\omega t - \frac{1}{4}\sin(\omega t - 120^\circ) - \frac{1}{2}\sin(\omega t - 210^\circ)]$$

$$V_q = \frac{\sqrt{3}}{2} V_m [\sin(\omega t - 120^\circ) - \sin(\omega t - 210^\circ)]$$

ფ)



3)

$$v_d = V_m \left[\begin{array}{l} \sin \omega t + \frac{1}{2} \sin 2\omega t + \frac{1}{3} \sin 3\omega t - \frac{1}{2} \sin(\omega t - 120^\circ) - \frac{1}{4} \sin(2\omega t - 240^\circ) - \frac{1}{6} \sin 3\omega t - \\ - \frac{1}{2} \sin(\omega t - 240^\circ) - \frac{1}{4} \sin(2\omega t - 120^\circ) - \frac{1}{8} \sin 3\omega t, \end{array} \right]$$

$$v_q = \frac{\sqrt{3}}{2} V_m \left[\begin{array}{l} \sin(\omega t - 120^\circ) + \frac{1}{2} \sin(2\omega t - 240^\circ) + \frac{1}{3} \sin 3\omega t - \sin(\omega t - 240^\circ) - \frac{1}{2} \sin(2\omega t - 120^\circ) - \\ - \frac{1}{3} \sin 3\omega t \end{array} \right]$$

სურ. 3. პარკის ძაბვის ვექტორის კოდოგრაფები

დასკვნა

დასკვნის სახით შეიძლება აღინიშნოს, რომ პროგრამა LabVIEW-ს გრაფიკის აგების გრაფიკული დაპროგრამების ბლოკ-სქემა შეიძლება ჩართულ იქნეს სამფაზა ქსელის მართვის სისტემა

SCADA-ში, რაც შესაძლებელს გახდის გადაწყვედეს ქსელის დიაგნოსტიკის უმნიშვნელოვანესი ამოცანის – ქსელის სიმეტრიულობის მონიტორინგის და დიაგნოსტიკის ამოცანა.

ლიტერატურა

1. Basics of technical diagnostics. In 2 books. Object models, methods and algorithms for diagnosis. Ed.by P.P. Parkhomenko. M.: “Energia”. 1976, 464 p. (in Russian).
2. Butirin P.A., Vaskovskaya T.A., Karataeva V.V., Materikin S.V. Automation of physical research and experiment computer measurement and virtual instruments based on LabView. M.: DMK Press. 2005. (in Russian).

UDC 621.317.4
SCOPUS CODE 2105

About diagnostics of triphase sinousoidal AC network

Shota Nemsadze Department of Electrical Engineering and Electronics, Georgian Technical University,
75 M. Kostava str., 0160 Tbilisi, Georgia
E-mail: sh-nemsadze@mail.ru

Merab Tsetskhladze Department of Electrical Engineering and Electronics, Georgian Technical University,
75 M. Kostava str., 0160 Tbilisi, Georgia
E-mail: merabi.tsetskhladze@mail.ru

Reviewers:

T. Kokhreidze, Professor, Faculty of Power Engineering and Telecommunication, GTU
E-mail: Kthamaz@gmail.com

D. Turdzeladze, Associate Professor, Faculty of Power Engineering and Telecommunication, GTU
E-mail: Turdzeladze59@gmail.com

Abstract. It has been established that when the powerful nonlinear loads, such as electric arc furnaces are switched on in the power grid, there is a high order of harmonics, distortion of the network voltage and worsening of the quality of power supply. Increase of the share of electrical consumer with non-linear characteristics in industrial enterprises has led to the need for measuring, analyzing and modeling non-sinusoidal regimes. The existence of higher harmonics in the power supply system increases the additional losses in the current conductor parts, reduction of power supply system elements life and overheating. The negative consequences result the reduction of energy efficiency of separate electrical receivers and electrical power supply systems. The work reviews the transformation of triphase symmetric voltage system in two-phase voltage system. It was noted that the supply of high-quality electric energy to consumers is a serious technical problem, the positive solution of which will ensure their technical and economic functioning at a high level. The article considers the importance of the analysis of voltage vector hodograph of park in determining the symmetry of voltage of triphase network, its construction method as well as the efficiency of plotting appropriate function graph in LabVIEW software program using the XY Graph block in this regard.

Key words: Asymmetric system; LabVIEW software program; power network; triphase symmetric voltage system; vector hodograph.

UDC 621.317.4
SCOPUS CODE 2105

Про диагностике трехфазной синусоидальной сети переменного тока

Шота Немсадзе Департамент электротехники и электроники, Грузинский технический университет,
Грузия, 0160, Тбилиси, ул. М. Костава, 75
E-mail: sh-nemsadze@mail.ru

Мераб Цецхладзе Департамент электротехники и электроники, Грузинский технический университет,
Грузия, 0160, Тбилиси, ул. М. Костава, 75
E-mail: merabi.tsetskhladze@mail.ru

Рецензенты:

Т. Кожреидзе, профессор, доктор технических наук факультета энергетики и телекоммуникации ГТУ
E-mail: Kthamaz@gmail.com

Д. Турдзеладзе, асоц.профессор факультета энергетики и телекоммуникации ГТУ
E-mail: Turdzeladze59@gmail.com

Аннотация. Установлено, что при подключении мощных нелинейных нагрузок, таких как электродуго-вых печей в электрической сети, наблюдается высокий порядок гармоник, искажения сетевого напряжения и ухудшение качества подаваемой электрической энергии. Увеличение доли электроприемников с нелинейными характеристиками на промышленных предприятиях привело к необходимости измерения, анализа и моделирования неинвазивных режимов. Наличие высших гармоник в системе электропитания увеличивает дополнительные потери в токопроводящих деталях, сокращает срок службы элементов системы электропитания, перегрев деталей. Негативные последствия обуславливают снижением энергоэффективности отдельных электроприемников и системы электроснабжения в целом. В работе показано преобразование трехфазной симметричной системы напряжения в двухфазную систему напряжения. Отмечено, что подача высококачественной электрической энергии потребителям является серьезной технической проблемой, положительное решение которой обеспечит их техническое и экономическое функционирование на высоком уровне. Показана значимость анализа годографа вектора напряжения Парка и методика его построения при установлении симметричности напряжения трехфазной сети. Показана также эффективность построения графика функции в программе LabVIEW с помощью блока XY Graph.

Ключевые слова: асимметричная система; годограф вектора; питающая сеть; программа; трехфазная симметричная система напряжений; LabVIEW.

კანხილვის თარიღი 30.04.2019

შემოსვლის თარიღი 28.05.2019

ხელმოწერილია დასაბეჭდად 17.12.2019