

## ПРИЛОЖЕНИЕ НА МЕТОДОЛОГИЯ ЗА АНАЛИЗ НА СТАТОРНИЯ ТОК ЗА ДИАГНОСТИКА НА КОРАБНИ ЕНЕРГИЙНИ СИСТЕМИ

Юлиян Йорданов<sup>1</sup>, Милен Дуганов<sup>2</sup>, Пламен Парушев<sup>3</sup>, Валентин Гюров<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Технически университет-Варна

<sup>2</sup> Технически университет-Варна

<sup>3</sup> Технически университет-Варна

<sup>4</sup> Технически университет-Варна

## APPLICATION OF METHODOLOGY FOR CURRENT SIGNATURE ANALYSIS FOR DIAGNOSIS OF SHIP POWER PLANTS

Yulian Yordanov<sup>1</sup>, Milen Duganov<sup>2</sup>, Plamen Parushev<sup>3</sup>, Valentin Gyurov<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Technical University of Varna

<sup>2</sup> Technical University of Varna

<sup>3</sup> Technical University of Varna

<sup>4</sup> Technical University of Varna

### Abstract

*The diagnostics of the operational condition of the ship power plants is an actual problem related to the preventive maintenance management in the ship power systems. This report presents the application of a methodology for diagnostics of asynchronous electric motors and its improvement and adaptation for diagnostics of brushless synchronous generators in shipboard electrical power systems. The main focus of the study is the assessment of the possibility for adequate preventive management of marine power plants with the use of specialized methods and measuring equipment. The presented approach allows monitoring of the condition of ship brushless synchronous generators for the presence and significance of various mechanical defects. With the use of the present methodology it is possible to assess the level of operational indicators for the reliability of electrical equipment and their dynamic change over time, as well as to predict the probability of occurrence of emergency events.*

**Keywords:** excitation disturbances; synchronous generators; MCSA; MVSA.

### ВЪВЕДЕНИЕ

Основни задачи на техническата диагностика са разработката и използването на методи, модели и алгоритми за обработка на диагностична информация. Определяне на състоянието на синхронни генератори (СГ), работещи в „островен режим на експлоатация”, е специфична тема изискваща самостоятелно разглеждане. В доклада са обсъдени само част от многото възможности за диагностика на СГ, използвайки методите за спектрален анализ на статорния ток и напрежение.

Използването на MCSA (motor current signature analysis) и MVSA (motor voltage signature analysis) се свързва с откриването на неизправности в асинхронни двигатели

АД [3]. Използването на аналогични методи за откриването на дефекти в СГ е напълно възможно и целесъобразно. Въвеждането на понятията GCSA (generator current signature analysis) и GVSA (generator voltage signature analysis), позволява разграничаване и избягване на колизии с познати техники използвани за диагностика на АД.

### ИЗЛОЖЕНИЕ

Съвместното или самостоятелното използване на GCSA и GVSA ни позволява диагностициране на следните дефекти в синхронни генератори [1, 2, 4, 5, 6, 7]:

➤ Междунавивково късо съединение в роторната намотка

$$f = f_1 \pm kf_r \quad (1)$$

Като признаците от 1 и 2 трябва да се използват съвместно.

$$f = 2kf_1 \quad (2)$$

➤ Междунавивково късо съединение в статорната намотка.

$$f = 3kf_1 \quad (3)$$

➤ Механични неизправности на ротора, статичен ексцентритет, несъосие.

$$f_{e1,2} = f_1 \pm kf_r \quad (4)$$

$f_1$  – честота на генераторното напрежение;  
 $f_r$  – честота на въртене на ротора на СГ;  $f_{e1}$  и  $f_{e2}$  – специфични честотни компоненти породени от промените във въздушната междина;  $k$  – цяло число 1,2,3...n.

Съвременните дизел-генератори все по-често използват безчеткови системи за възбуждане, което несъмнено има големи предимства. Един от малкото недостатъци на тази структурна схема е липсата на лесен достъп до точки, позволяващи диагностика на генератора и в частност възбудителната му система [1, 2, 4, 5, 6, 7].

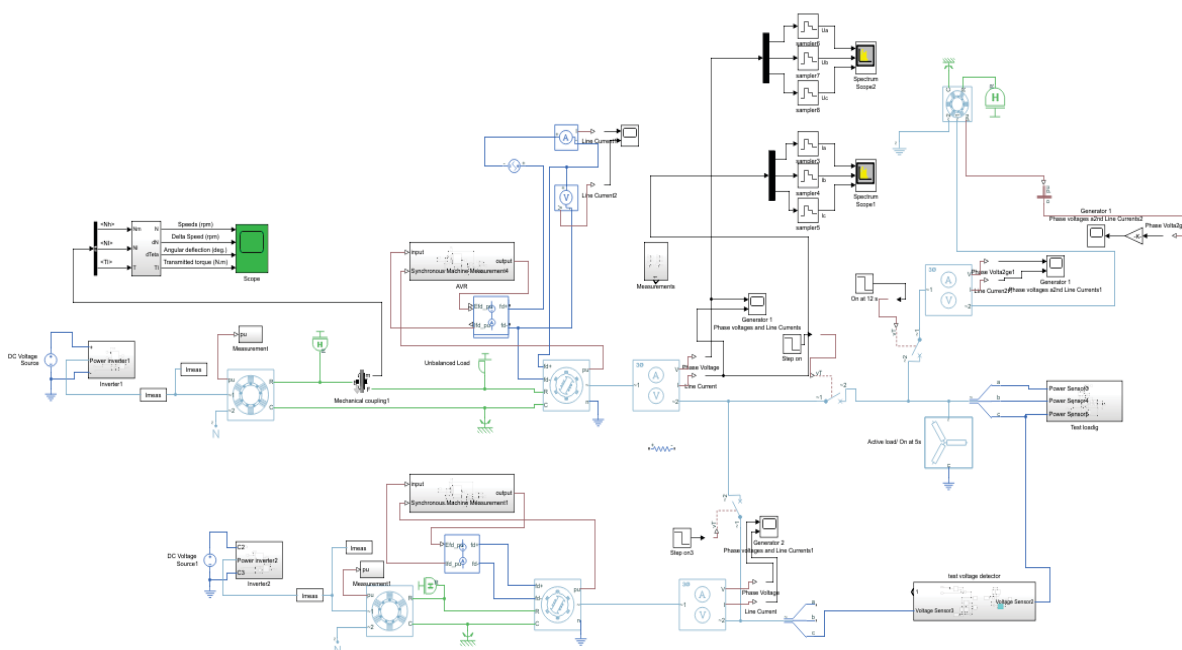
Появата на пулсации с определена честота и амплитуда в напрежението, съответно тока на възбудителната верига, тоест в роторната намотка на СГ, може да бъде използван като важен признак за повреда. Прилагайки частична аналогия с работата на асинхронен двигател (АД), можем да направим предположението, че при поява на пулсации, те би трябвало да индуцират в определен мащаб същите или модулирани честотни компоненти в генераторното напрежение и ток. Предвид липсата на хлъзгане в СГ, може да се предположи появяването им на честота изчислена от:

$$f_{ex1,2} = f_1 \pm f_{puls} \quad (5)$$

$f_{puls}$  - честота на внесеното смущение

### Симуляционен модел

За надеждна проверка и верификация на направеното предположение, е използван симуляционен модел на учебен стенд в ТУ-Варна, реализиран в среда Matlab Simulink. Симулацията е на синхронни генератори (СГ), работещи в „островен режим на експлоатация“. Състои се от два броя СГ задвижвани от АД с честотно управление. Съответно натоварване на генераторите се осигурява чрез блок с активно-индуктивно товар и/или моментно включване на АД. Възбуждането се осъществява от модул АС1С1 съгласно стандарт IEEE 421.5-2016.

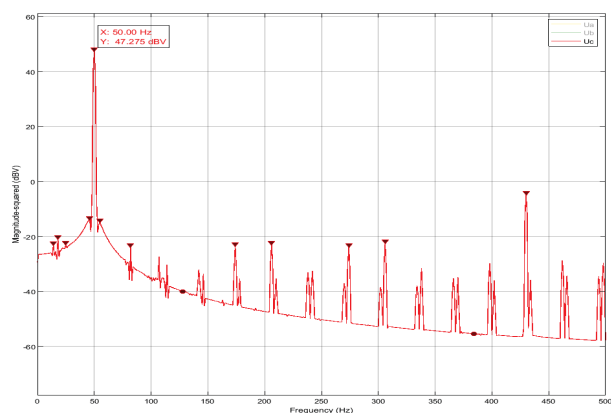


Фиг. 1. Блокова схема на модел в Matlab Simulink на синхронни генератори, работещи в „островен режим“

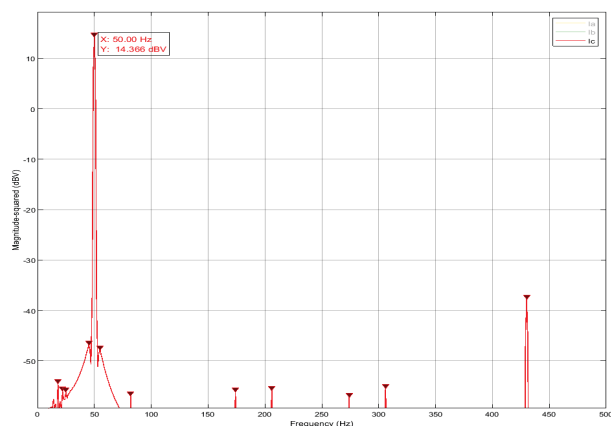
В настоящото симулационно изследване са използвани параметрите на синхронни генератори с номинална мощност 6.6 kVA, синхронна скорост  $1500 \text{ min}^{-1}$ . Опитите са проведени при  $\cos\varphi=0.83$  и  $54\%S_n=3.6 \text{ kVA}$  от номиналното натоварване на синхронния генератор.

### Получени резултати

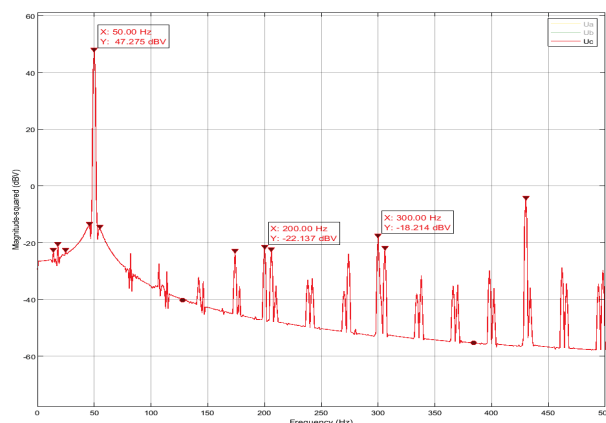
Спектрите на тока и напрежението на фигури 2 и 3 показват началното състояние на системата, без да са внесени допълнителни смущения във възбудителната верига. След внасяне на синусоидално смущение с честота  $f=250 \text{ Hz}$  в спектъра на тока  $I_c$  и напрежението  $U_c$ , ясно се отличават  $f_{ex1}=200 \text{ Hz}$  и  $f_{ex2}=300 \text{ Hz}$ . Симулацията на процеса при  $300 \text{ Hz}$  отново ни дава изчислените по формула (5),  $f_{ex12}$ . На фигури 8 и 9 са представени спектрите при опит с пулсации на  $400 \text{ Hz}$ . Причината да се използват смущения в този диапазон е многообразието на технически решения за входния сигнал на въртящия се изправител при безчеткови синхронни генератори.



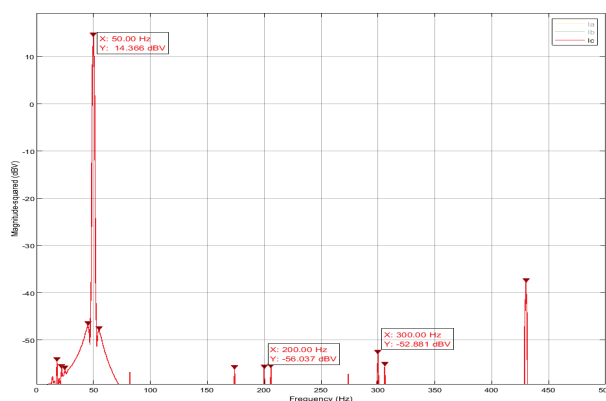
Фиг. 2. Спектър  $U_c$  без въздействие



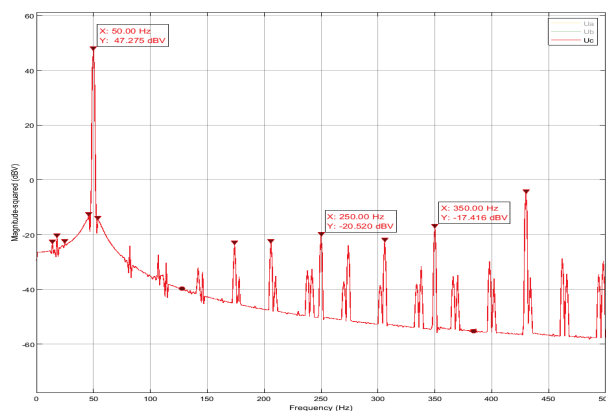
Фиг. 3. Спектър  $I_c$  без въздействие



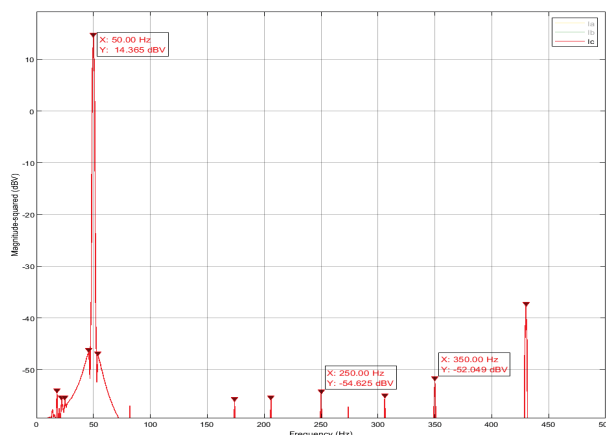
Фиг. 4. Спектър  $U_c$  250 Hz



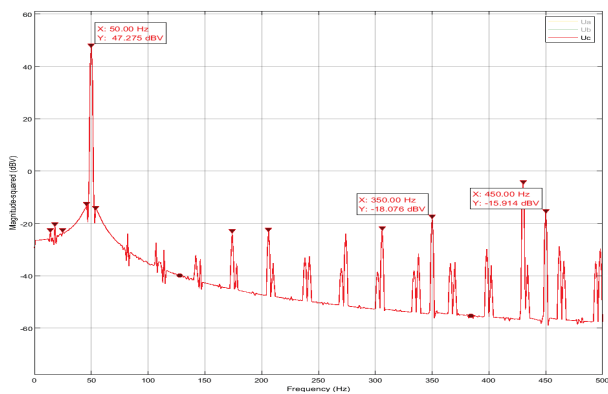
Фиг. 5. Спектър  $I_c$  250 Hz



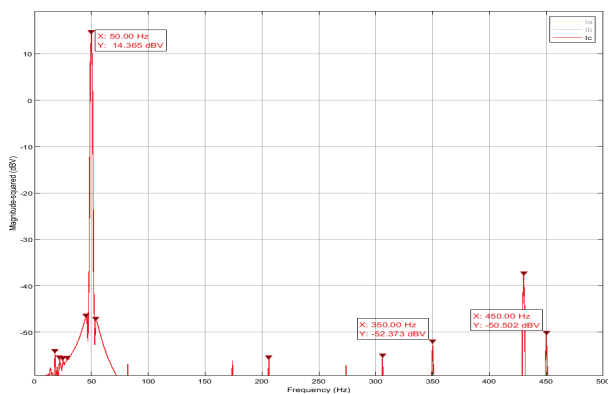
Фиг. 6. Спектър  $U_c$  300 Hz



Фиг. 7. Спектър  $I_c$  300 Hz



Фиг. 8. Спектър  $U_c$  400 Hz



Фиг. 9. Спектър  $I_c$  400 Hz

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Получените резултати от проведеното симулационно изследване ни показват наличието и влиянието на пулсациите в напрежението и тока на възбуждане върху формата на генераторното напрежение и ток. Това влияние може да бъде използвано като диагностичен признак за състоянието на възбудителната система. Освен за точно установяване наличието и промяната на смущаващото въздействие, констатираната зависимост предлага възможността да се отстранят тези честотни компоненти при анализиране на други дефекти или да се вземат под внимание при вероятност за съвпадение на признаците на различни повреди. Използването на GCSA и GVSA може значително да улесни и подобри диагностиката на синхронни генератори, работещи в „островна схема“.

*Представеното изследване е част от работата по проект НП1/2021 „Разра-*

*ботване на комплексни методи за анализ и диагностика на състоянието на корабни електроцентрали”, финансиран по Фонд научни изследвания – Технически университет - Варна.*

## REFERENCE

[1] Cruz, S.M.A.; Cardoso, A.J.M. Stator winding fault diagnosis in three-phase synchronous and asynchronous motors, by the extended park’s vector approach. IEEE Trans. Ind. Appl. 2001, 37, 1227–1233.

[2] Fayazi, M.; Haghjoo, F. Turn to turn fault detection and classification in stator winding of synchronous generators based on terminal voltage waveform components. In Proceedings of the 9th Power Systems Protection & Control Conference (PSPC2015), Tehran, Iran, 14–15 January 2015; pp. 36–41.

[3] ISO 20958-2013 Condition monitoring and diagnostics of machine systems- Electrical signature analysis of three-phase induction motors IEEE Recommended Practice for Excitation System Models for Power System Stability Studies. IEEE Std 421.5-2016. Piscataway, NJ: IEEE-SA, 2016.

[4] Nadarajan, S.; Panda, S.K.; Bhangu, B.; Gupta, A.K. Hybrid Model for Wound-Rotor Synchronous Generator to Detect and Diagnose Turn-to-Turn Short-Circuit Fault in Stator Windings. IEEE Trans. Ind. Electron. 2015, 62, 1888–1900.

[5] Nadarajan, S.; Panda, S.K.; Bhangu, B.; Gupta, A.K. Online Model-Based Condition Monitoring for Brushless Wound - Field Synchronous Generator to Detect and Diagnose Stator Windings Turn-to-Turn Shorts Using Extended Kalman Filter. IEEE Trans. Ind. Electron. 2016, 63, 3228–3241.

[6] Salomon, C.P.; Ferreira C Santana, W.C.; Lambert-Torres G, Borges da Silva, L.E.; Bonaldi, E.L.; de Oliveira, L.E.L. Silva Torres B. A Study of Fault Diagnosis Based on Electrical Signature Analysis for Synchronous Generators Predictive Maintenance in Bulk Electric Systems, Energies 2019, 12(8), 1506.

[7] Sottile, J.; Trutt, F.C.; Leedy, A.W. Condition Monitoring of Brushless Three-Phase Synchronous Generators With Stator Winding or Rotor Circuit Deterioration. IEEE Trans. Ind. Appl. 2006, 42, 1209–1215.