

УДК: 621.313

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЖИВУЧЕСТИ СИНХРОННЫХ МАШИН В АСИНХРОННОМ РЕЖИМЕ БЕЗ ВОЗБУЖДЕНИЯ****Пирматов Нурали Бердиёрович<sup>1</sup>** - доктор технических наук, профессор,E-mail: [npirmatov@mail.ru](mailto:npirmatov@mail.ru)**Бекишев Аллаберген Йргашевич<sup>1</sup>** - старший преподаватель,E-mail: [allabergen1386@umail.uz](mailto:allabergen1386@umail.uz)**Курбонов Нажмиддин Абдухамидович<sup>2</sup>** - доцент, E-mail [Elmeh1212@mail.ru](mailto:Elmeh1212@mail.ru)**Бабаев Отабек Элмуродович<sup>2</sup>** – ассистент, E-mail [otabekelmurodovich5100@gmail.com](mailto:otabekelmurodovich5100@gmail.com)<sup>1</sup> Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова, г. Ташкент, Узбекистан<sup>2</sup> Каршинский инженерно-экономический институт, г. Карши, Узбекистан

***Аннотация.** В данной статье экспериментально определены переходные процессы работы в асинхронном режиме без возбуждения традиционных и синхронных генераторов с двухосным возбуждением. Осциллограммы изменения напряжения и тока во время переходного процесса в невозбуждаемом асинхронном режиме получали с помощью осциллографа Tektronix серии MSO 64.*

***Ключевые слова:** дифференциальные уравнения, синхронная машина, продольнопоперечная ось, магнитное поле, потокосцепления, индуктивность, взаимная индуктивность.*

УО‘К: 621.313

**СИНХРОН МАШИНАЛАРНИНГ ҚЎЗҒАТИШСIZ АСИНХРОН РЕЖИМДА ИШЛАЙ ОЛИШ ҚОБИЛИЯТИНИНГ ҚИЁСИЙ ТАҲЛИЛИ****Пирматов Нурали Бердиёрович<sup>1</sup>** - texnika fanlari doktori, professor,E-mail: [npirmatov@mail.ru](mailto:npirmatov@mail.ru)**Бекишев Аллаберген Йргашевич<sup>1</sup>** - katta o‘qituvchi, E-mail: [allabergen1386@umail.uz](mailto:allabergen1386@umail.uz)**Курбонов Нажмиддин Абдухамидович<sup>2</sup>** - доцент, E-mail [Elmeh1212@mail.ru](mailto:Elmeh1212@mail.ru)**Бабаев Отабек Элмуродович<sup>2</sup>** – ассистент, E-mail [otabekelmurodovich5100@gmail.com](mailto:otabekelmurodovich5100@gmail.com)Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent sh., O‘zbekiston  
Qarshi mihandislik-iqtisodiyot instituti, Qarshi sh., O‘zbekiston

***Аннотасија.** Ushbu maqolada an’anaviy va ikki o‘q bo‘yicha qo‘zg‘atiladigan sinxron generatorlarni qo‘zg‘atishsiz asinxron rejimda o‘tkinchi jarayonlari tajribada aniqlangan. Tektronix MSO 64 seriyali ossillograf yordamida qo‘zg‘atilmagan asinxron rejimda o‘tkinchi jarayonda kuchlanish va tok o‘zgarishlarining ossillogrammalari olingan.*

***Калит so‘zlar:** differensial tenglamalar, sinxron mashina, ko‘ndalang o‘q, magnit maydon, magnit maydon, induktivlik, o‘zaro induktivlik.*

UDC: 621.313

**COMPARATIVE ANALYSIS OF THE SURVIVALITY OF SYNCHRONOUS MACHINES IN ASYNCHRONOUS MODE WITHOUT EXCITATION****Пирматов Нурали Бердиёрович<sup>1</sup>** - Doctor of technical sciences, professorE-mail: [npirmatov@mail.ru](mailto:npirmatov@mail.ru)**Бекишев Аллаберген Йргашевич<sup>1</sup>** - Senior lecturer, E-mail: [allabergen1386@umail.uz](mailto:allabergen1386@umail.uz)**Курбонов Нажмиддин Абдухамидович<sup>2</sup>** - доцент, E-mail [Elmeh1212@mail.ru](mailto:Elmeh1212@mail.ru)

**Бабаев Отабек Элмуродович**<sup>2</sup> – assistant, E- mail otabekelmurodovich5100@gmail.com

<sup>1</sup>Tashkent State Technical University named after Islam Karimov, Tashkent city, Uzbekistan

<sup>2</sup>Karshi Engineering-Economics Institute, Karshi city, Uzbekistan

**Abstract.** *In this article, transient processes of operation in asynchronous mode without excitation of traditional and synchronous generators with biaxial excitation are experimentally determined. Oscillograms of voltage and current changes during the transient process in the unexcited asynchronous mode were obtained using a Tektronix MSO 64 series oscilloscope.*

**Key words:** *differential equations, synchronous machine, longitudinal-transverse axis, magnetic field, flux linkage, inductance, mutual inductance.*

## Введение

В практике эксплуатации синхронных машин известны случаи, когда отдельные машины выпадают из синхронизма и их роторы начинают вращаться относительно поля якоря (статора) асинхронно, с некоторым скольжением. Это происходит из-за перегрузки машин, значительного падения напряжения в сети и потери возбуждения в результате каких-либо неисправностей в системе возбуждения или ошибочной работы полевой машины пожаротушения. Хотя невозбуждаемая явнополюсная машина может развивать в синхронном режиме определенную мощность за счет реактивного момента, обычно этой мощности недостаточно для покрытия нагрузки, в связи с чем явнополюсные машины при потере возбуждения чаще всего также выпадают из синхронизма.

При работе синхронных генераторов бывают случаи, когда генераторы выпадают из синхронизма и их роторы начинают вращаться относительно поля якоря асинхронно. Это явление называется асинхронной работой генератора. Этот режим возникает из-за нарушения динамической устойчивости, вследствие потери возбуждения синхронной машины. Отсутствие возбуждения возможно из-за ложного отключения автоматического подавления поля, потери фазы, короткого замыкания в силовых цепях обмоток возбуждения генераторов, поломок возбuditелей, элементов в цепи возбуждения.

Асинхронный режим возникает из-за полной или частичной потери возбуждения генератора [1-3]. Полная потеря возбуждения наступает в следующих случаях: ошибочное отключение АЭ (автоматического огнетушителя), обрыв или короткое замыкание в силовой цепи обмотки возбуждения генератора, повреждения возбuditеля или элементов цепей возбуждения, при переключении на резервный возбuditель, ошибки персонала и т. д. [4-6]. В зависимости от характера неисправности обмотка возбуждения генератора, перешедшего в асинхронный режим, может быть разомкнута, замкнута на резистор, замкнута на вентили или на обмотку возбuditеля [7, 9].

Как только скорость ротора начинает отличаться от синхронной, возникает скольжение, которое увеличивается с увеличением разницы скоростей. Из-за скольжения возникает асинхронный момент; оно связано с напряжением на опорах генератора. По мере увеличения скольжения в действие вступают регуляторы мощности турбины, снижающие крутящий момент турбины. Синхронная мощность принимает импульсную форму и, оказываясь скользящей функцией, начнет воздействовать на нее, вызывая свои импульсы. При определенном показателе скольжения крутящий момент турбины будет равен среднему асинхронному моменту. Это равновесие считается началом асинхронного режима.

Уменьшению тока в обмотке возбуждения генератора магнитный поток возбуждения и соответствующий синхронный электромагнитный момент на валу турбогенератора уменьшаются [8, 10]. При определенном значении тока возбуждения величина синхронного электромагнитного момента становится меньше момента турбины и генератор, продолжая оставаться в сети, выпадает из синхронизма. Для поддержания магнитного поля генератор начинает потреблять ток намагничивания из сети. Из-за дисбаланса между моментом турбины

и электромагнитным (тормозным) моментом генератора частота вращения турбоагрегата начинает увеличиваться выше синхронной.

Увеличение частоты вращения турбоагрегата приводит к тому, что ротор генератора вращается быстрее магнитного поля статора и в цепях ротора появляются переменные токи, имеющие частоту скольжения  $s \cdot f_1$ . Взаимодействие токов, наведенных в цепях ротора, с основным потоком статора создает асинхронный электромагнитный момент на валу генератора, замедляющий момент ротора. Установленный асинхронный режим возникает при равенстве асинхронного электромагнитного момента и момента вращения турбины, генератор в этом режиме отдает в сеть активную мощность и потребляет реактивную мощность из сети.

Из-за одноосности обмотки возбуждения и неодинаковой магнитной проводимости в традиционном синхронном генераторе по продольной и поперечной осям машины этот асинхронный момент не остается постоянным, а колеблется вокруг среднего значения.

Периодическое изменение асинхронного момента приводит к колебаниям мощности и скольжению генератора; таким образом, можно лишь условно считать, что асинхронный режим без возбуждения является установившимся режимом. Активная нагрузка, при которой наступает установившийся режим, определяется характеристикой управления турбиной и величиной асинхронного момента генератора, который в общем случае определяется индуктивными сопротивлениями генератора в установившемся и переходном режимах и постоянными времени его цепей. Асинхронный момент турбогенераторов резко возрастает с увеличением скольжения, поэтому равновесие между асинхронным моментом генератора и моментом турбины наступает при сравнительно небольших скольжениях (0,0025-0,01) [13, 14].

### Экспериментальные исследования

Асинхронные режимы могут возникнуть в результате:

- нарушение статической устойчивости из-за увеличения передаваемой мощности по линиям электропередачи сверх допустимого значения;
- нарушения динамической устойчивости вследствие аварийных возмущений (коротких замыканий, отключения генерирующего оборудования или электроустановок потребителей);
- несинхронное включение линий электропередачи и генераторов;
- потеря возбуждения генератора.

Следует отметить, что асинхронные режимы работы невозбуждаемой и возбужденной синхронной машины существенно отличаются друг от друга. Асинхронный режим работы генератора сопровождается следующими изменениями показаний приборов, что показано на рис.1: ток статора увеличивается и колеблется с частотой скольжения вблизи некоторого среднего значения; напряжение статора снижается тем больше, чем больше нагрузка машины (на величину падения напряжения  $U_n$  в блочном трансформаторе); в обмотке ротора, если она короткозамкнута или находится в сопротивлении), протекает переменный ток, стрелки приборов тока и напряжения ротора колеблются с удвоенной частотой скольжения в обе стороны от нуля; Счетчик реактивной мощности указывает направление мощности от сети к генератору. В асинхронном режиме существенно снижается напряжение на выводах статора генератора и, в меньшей степени, на высоковольтных шинах, на которых работает этот генераторно-трансформаторный блок [14, 15].

Прохождение наведенных токов через ствол, зубья и клинья ротора вызывает потери, пропорциональные скольжению и электромагнитному асинхронному моменту. С другой стороны, увеличение результирующей МДС рассеянного потока в области лобовых частей вызывает увеличение нагрева наружных пакетов и части задней части статора, не защищенной нажимным фланцем, что характерно для режим глубокого недовозбуждения. Поддержание работы турбогенератора, потерявшего возбуждение, возможно только в тех случаях, когда энергосистема имеет необходимый запас реактивной мощности для поддержания напряжения в узловых точках энергосистемы. Колебания токов, напряжений и мощности на

турбогенераторе, работающем в асинхронном режиме, возникают из-за вращения ротора относительно поля статора.

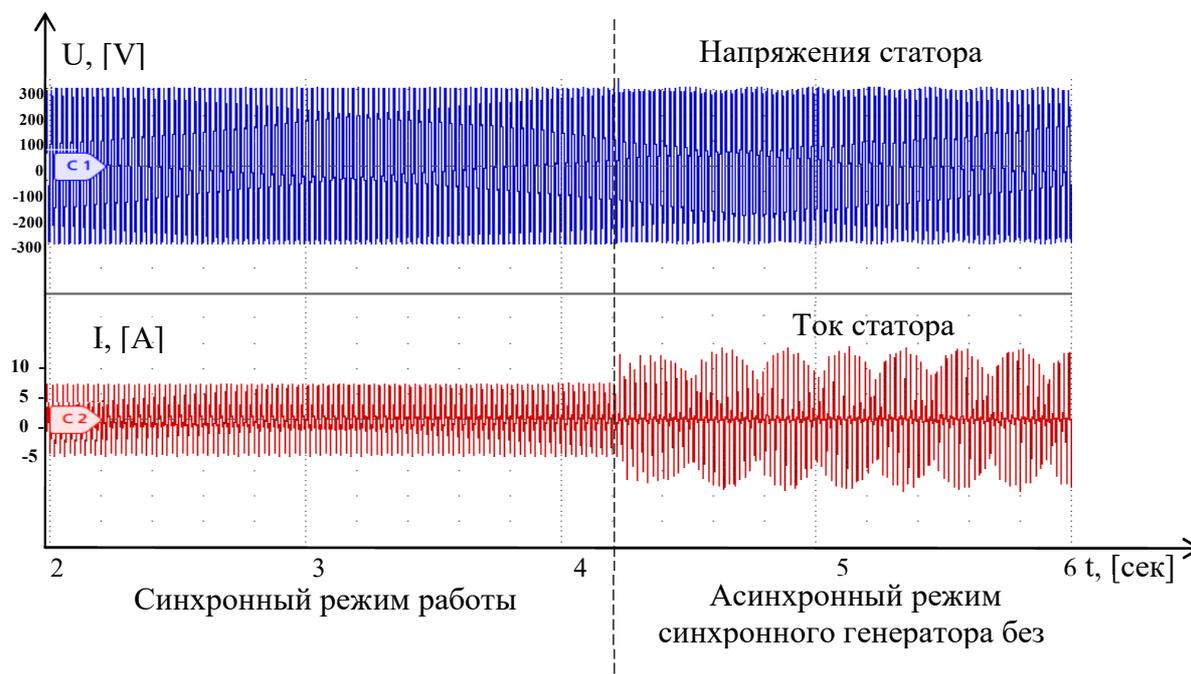


Рис.1. Осциллограмма напряжения и тока статора традиционного синхронного генератора при переходе в асинхронный режим

### Результаты исследования

На рис. 2 представлена конструкция ротора обычного и двухосного синхронного генератора. Согласно рис. 2, ротор двухосного синхронного генератора обладает электрической и магнитной симметрией, поэтому при переходе этих двухосных синхронных генераторов в асинхронный режим работы, как на рис. 3, никаких колебаний тока и напряжения его статора не наблюдается.

Допустимая продолжительность асинхронных режимов работы турбогенераторов зависит от их конструктивных особенностей. Генераторы с непрямым охлаждением независимо от охлаждающей среды могут работать в асинхронном режиме не более 30 минут при нагрузке до 0,6 номинальной.

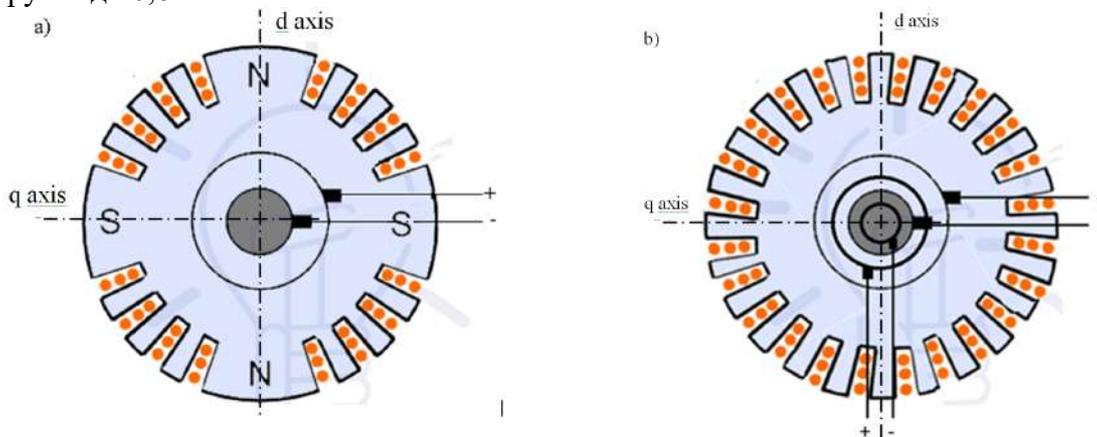


Рис.2. Вид ротора традиционного и синхронного генератора с двухосным возбуждением: а) традиционное б) двухосное возбуждение

Допустимая продолжительность асинхронных режимов работы турбогенераторов с двухосным возбуждением увеличивается за счет отсутствия колебаний тока и напряжения на статоре.

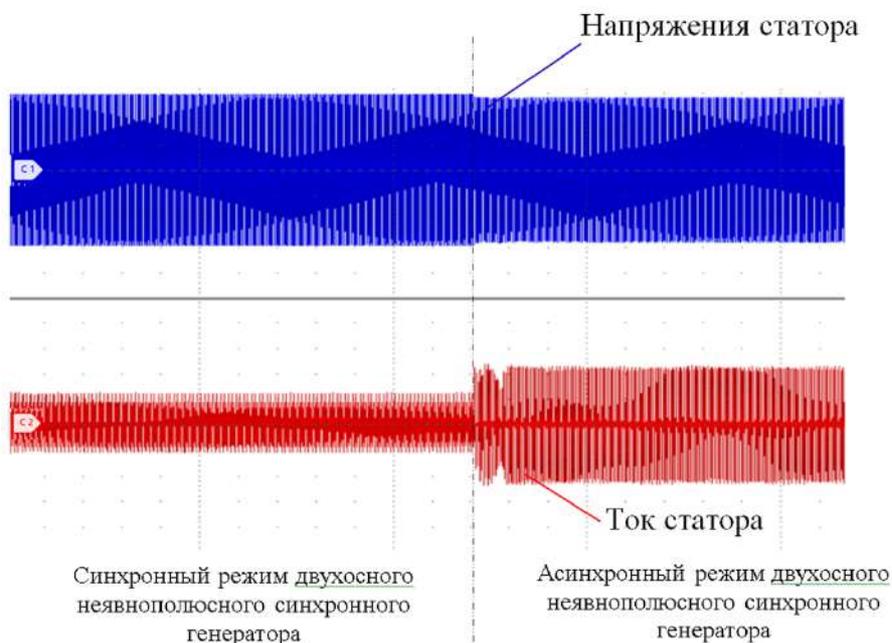


Рис.3. Осциллограмма напряжения и тока статора двухосного синхронного генератора при переходе в асинхронный режим

### Заключение

Экспериментальный анализ показывает, что синхронный генератор с двухосным возбуждением, обладающий магнитной и электрической симметрией, устойчив и без колебаний параметров, работает в асинхронном режиме без возбуждения, чем традиционный синхронный генератор. Это повышает работоспособность и живучесть синхронных генераторов с двухосным возбуждением в асинхронном режиме без возбуждения.

### Литература

- [1] Pirmatov, N., Muminov, M., Akberdiev, M., Abdullayev, J. *AIP Conference Proceedings* 2432. 020020. (2022). <https://doi.org/10.1063/5.0089838>
- [2] Pirmatov, N., Panoev, A., Samatova, G., Berdiyurov, O. *E3S Web of Conferences* 383. 04046. (2023). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202338304046>
- [3] Baratov, R., Pirmatov, N., Panoev, A., ...Ruziyev, S., Mustafoqulov, A. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 1030(1). 012161. (2021). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1030/1/012161>
- [4] Pirmatov, N., Panoev, A. *E3S Web of Conferences* 216. 01120. (2020). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021601120>
- [5] Pirmatov, N., Tosheva, S., Toshev, S. *E3S Web of Conferences* 139. 01027. (2019). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201913901027>
- [6] Norkhojaeva, N.N., Pirmatov, N.B., Kamalov, N.K. *E3S Web of Conferences* 402. 10041. (2023). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340210041>
- [7] Pirmatov, N.B., Egamov, A.M., Giyasov, C.M., Ergashov, Sh.O., Nizamov, J.A. *E3S Web of Conferences* 401. 03056. (2023). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340103056>

- 
- [8] Aljwary A., Yusupov Z., E3S Web of Conferences, 304, 01010 (2021). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202130401010>
- [9] Pirmatov N., Bekishev A., S. Shernazarov, N. Kurbanov. E3S Web of Conferences, 264, 04028, (2021), <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126404028>
- [10] Pirmatov N., Toirov O., Bekishev A., Kurbanov N., Zainieva O., Norkulov N. Conference Proceedings AIP 2552. 040020. (2023). <https://doi.org/10.1063/5.0115727>
- [11] Bekishev A., Urakov S., Mirkhonov Yu. E3S Web of Conferences 216. 01116. (2020). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021601116>
- [12] Pirmatov N., Bekishev A., Egamov A. AIP Conference Proceedings 2612. 050005. (2023). <https://doi.org/10.1063/5.0135546>
- [13] Файзиёв, М. М., Курбанов, Н. А., Имомназаров, А. Б., Бобоназаров, Б. С., & Бекишев, А. Э. (2017). Моделирование неявнополюсного синхронного генератора в Matlab. *Вестник науки и образования*, 1(5 (29)), 10-14.
- [14] Пирматов, Н., Зайниева, О., Курбонов, Н., & Норкулов, У. (2022). Metallurgiya kombinatlari daqi kуввати 5,2 мвтти синхрон моторларидан фойдаланиш жараёнида энергияни тежаш. *Innovatsion Texnologiyalar*, 1(4), 39–41. Retrieved from <https://ojs.qmii.uz/index.php/it/article/view/103>.
- [15] Файзиёв, М. М., Курбанов, Н. А., Имомназаров, А. Б., & Бекишев, А. Э. (2017). Моделирование пуска асинхронных двигателей в Matlab. *Вестник науки и образования*, 1(3 (27)), 42-47.