

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ДИАГНОСТИКИ ГЕНЕРАТОРОВ НА БАЗЕ СИНХРОНИЗИРОВАННЫХ МГНОВЕННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В СИСТЕМЕ СМНР

**Т.Г. КЛИМОВА (НИУ “МЭИ”),
П.Н. КАЗАКОВ, А.С. СИЗОВ (АО “Искра Технологии”)**

МОИ | НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

ИСКРА
ТЕХНОЛОГИИ

В настоящее время контроль состояния генераторов проводится при помощи специализированных систем диагностики с использованием специальных датчиков (вибрации, электромагнитного излучения, измерения зазора, температуры и др.) и соответствующего программного обеспечения. Внедрение таких систем сопряжено со значительными затратами, что, в ряде случаев, может быть не оправдано. В то же время развитие электроники, в частности, технологии синхронизированных измерений и разнообразных методов анализа позволяет обнаруживать признаки развивающихся аварий без больших материальных затрат.

Большинство механических повреждений генераторов сопровождается появлением характерных гармоник в выходных напряжениях и токах. Анализ спектрального состава этих сигналов позволяет делать выводы о появлении и развитии тех или иных отклонений [1-5]. Наиболее удобным для анализа в данном случае могли бы быть мгновенные измерения, используемые в технологии цифровых подстанций, с передачей по протоколу МЭК 61850.9.2. Но применение данной технологии, во-первых, требует наличия соответствующей сетевой инфраструктуры, и, во-вторых, является избыточным для анализа механических повреждений, так как характерные гармоники лежат, как правило, в низкочастотной части спектра.

Ключевые слова: система СМНР; мгновенные измерения; диагностика оборудования.

РАСШИРЕНИЕ ФУНКЦИЙ СМНР

Для первичной диагностики генераторов на станциях, где предполагается внедрение Системы Мониторинга Системных Регуляторов (СМНР), компания “Искра технологии” предлагает использовать устройства синхронизированных векторных измерений (УСВИ) типа МИП-02А-40.01М и МИП-02А-40.05М. УСВИ МИП-02А-40.05М, которые имеют полный набор функций для измерения параметров генератора в рамках системы СМНР – синхронизированные измерения параметров обмотки возбуждения и выходных трёхфазных напряжений и токов. УСВИ МИП-02А-40.01М предназначено для контроля отходящих линий и не имеет каналов измерения параметров обмотки возбуждения генератора. Оба устройства могут дополнительно передавать на верхний уровень мгновенные измерения напряжений и токов с частотой 200 Гц по отдельному каналу по протоколу С37.118.

Приём и обработка синхронизированных мгновенных измерений может проводиться на отдельном АРМ или сервере. Частота измерений позволяет анализировать спектр частот в выходном сигнале до 100 Гц, что достаточно для выявления большинства механических повреждений.

ВОЗМОЖНЫЕ НАРУШЕНИЯ И ИХ ПРОЯВЛЕНИЯ В ВЫХОДНЫХ СИГНАЛАХ ГЕНЕРАТОРОВ

При анализе выходных сигналов генераторов следует учитывать, что источники низкочастотных колебаний могут быть внешние, что также можно определить по данным мгновенных измерений УСВИ. Для выделения внешних колебаний желательно на отходящих линиях станции установить УСВИ МИП-02А-40.01М.

Возможные нарушения генераторов, вызывающие появление дополнительных гармоник в выходных сигналах:

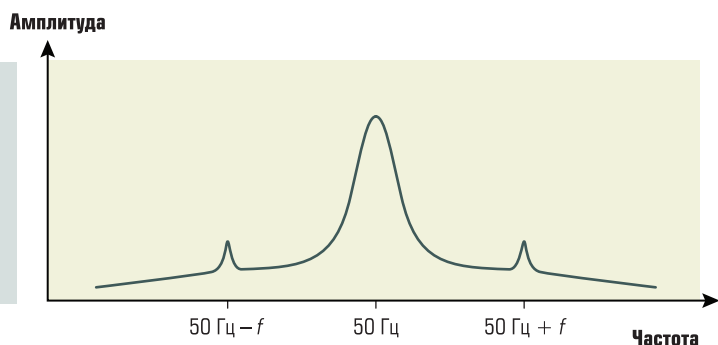


Рис. 1. Проявление низкочастотной составляющей в спектре выходного сигнала

- обрыв стержней ротора;
- эксцентриситет воздушного зазора;
- нарушение изоляции обмотки ротора;
- крутильные колебания вала генератора.

Если в генераторе появляются какие-либо низкочастотные механические колебания с частотой f , то в выходных сигналах напряжения и тока появляются гармоники с частотами $F - f$ и $F + f$, где F – основная частота сети (рис. 1).

Многие дефекты генераторов могут развиваться годами. При этом, по мере развития дефекта изменяются мощность и расположение низкочастотных гармоник. Например, при повреждении вала турбины по мере развития аварии амплитуда крутильных колебаний будет увеличиваться, а частота уменьшаться. На графике (рис. 1) пики соответствующих гармоник, по мере развития дефекта, будут “удаляться” от основной частоты.

Далее представлены экспериментальные данные, полученные на одной из станций, при наблюдении в течение трех лет. Для анализа использовались мгновенные значения напряжений и токов трех фаз трех генераторов, записанные на интервале несколько минут с частотой дискретизации 200 Гц. Оценка состояния производилась при анализе спектров всех данных.

Ниже (рис. 2 – рис. 5) приведены результаты анализа синхронизированных мгновенных измерений 2021 года.

Полученный спектр (рис. 2) показывает соотношения между промышленной частотой и возможными подсинхронными (интергармоническими, суб- и супергармоническими) колебаниями (ПСК), показывает несимметрию между характеристиками фаз генератора. Различный масштаб по вертикальной оси показывает соотношения между компонентами спектра.

В спектре напряжения (рис. 3), возможно, проявляются крутильные колебания, а в спектре тока статора – колебания, вызванные повреждениями ротора.

В спектре напряжения (рис. 4) проявляются крутильные колебания, а в спектре тока статора – колебания, вызванные повреждениями ротора.

В спектре напряжения (рис. 5) нет подсинхронных колебаний, а в спектре тока статора незначительные составляющие – колебания, вызванные повреждениями ротора.

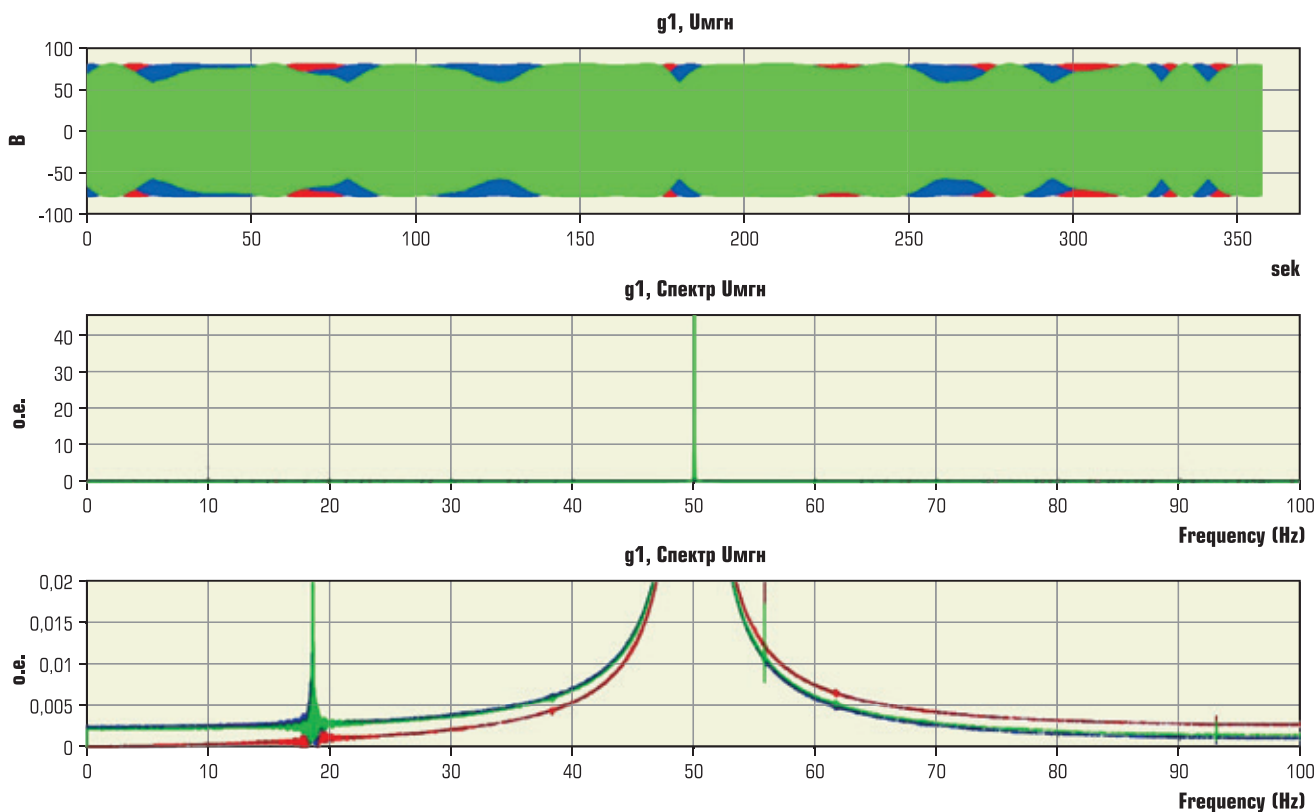


Рис. 2. Иллюстрация результатов обработки фазных напряжений генератора Г1

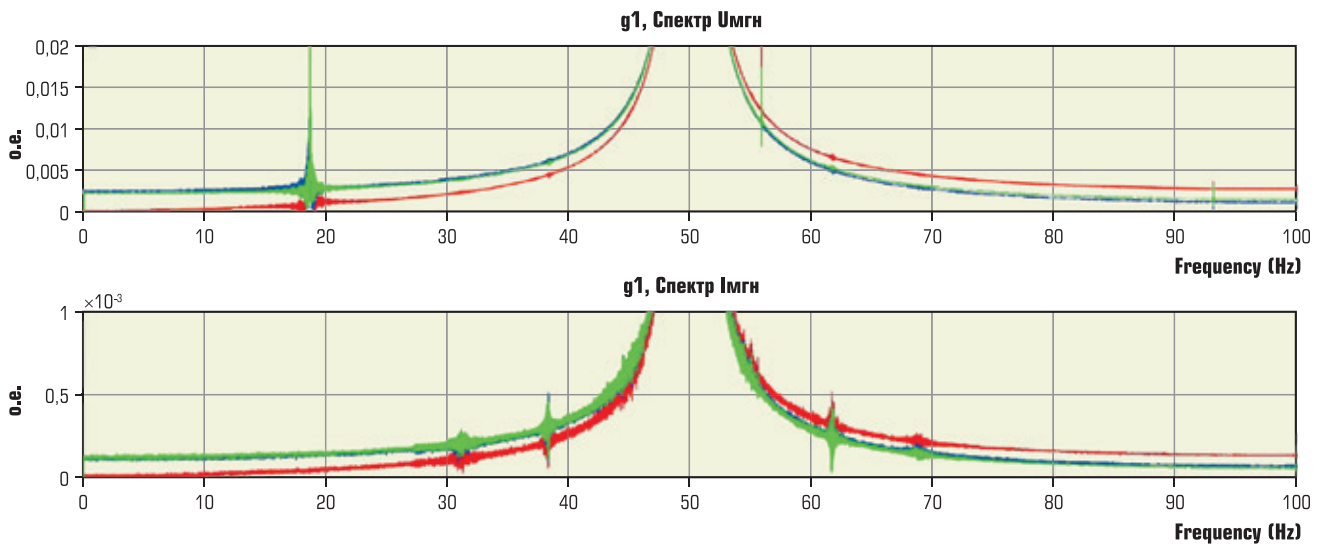


Рис. 3. Различные виды подсинхронных колебаний в фазных токах генератора Г1

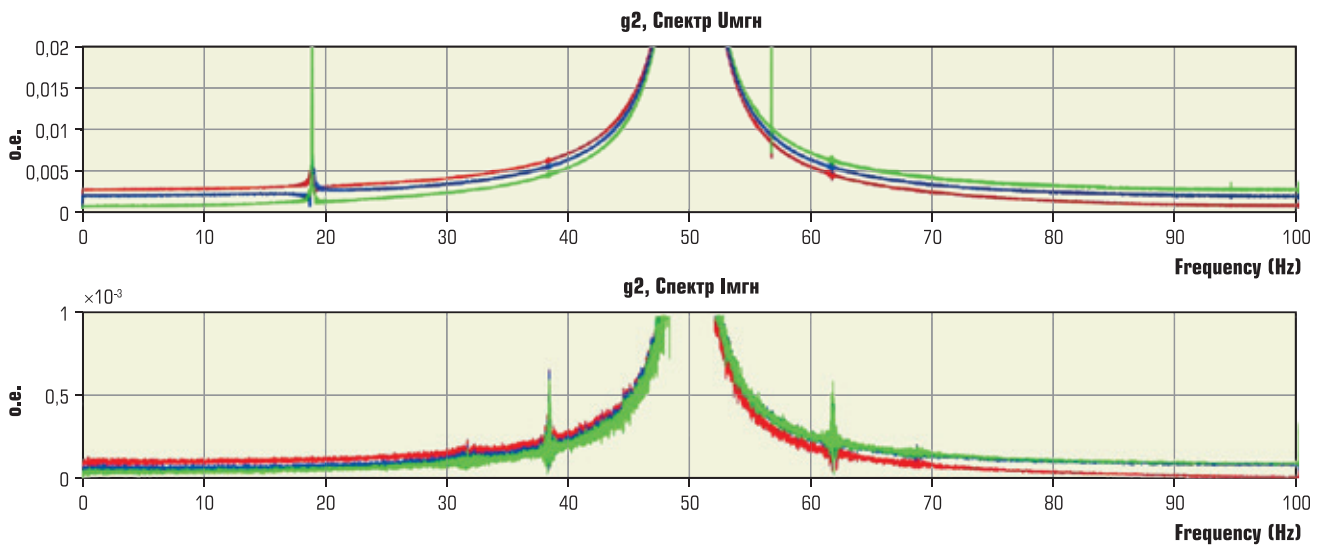


Рис. 4. Различные виды подсинхронных колебаний в фазных напряжениях генератора Г2

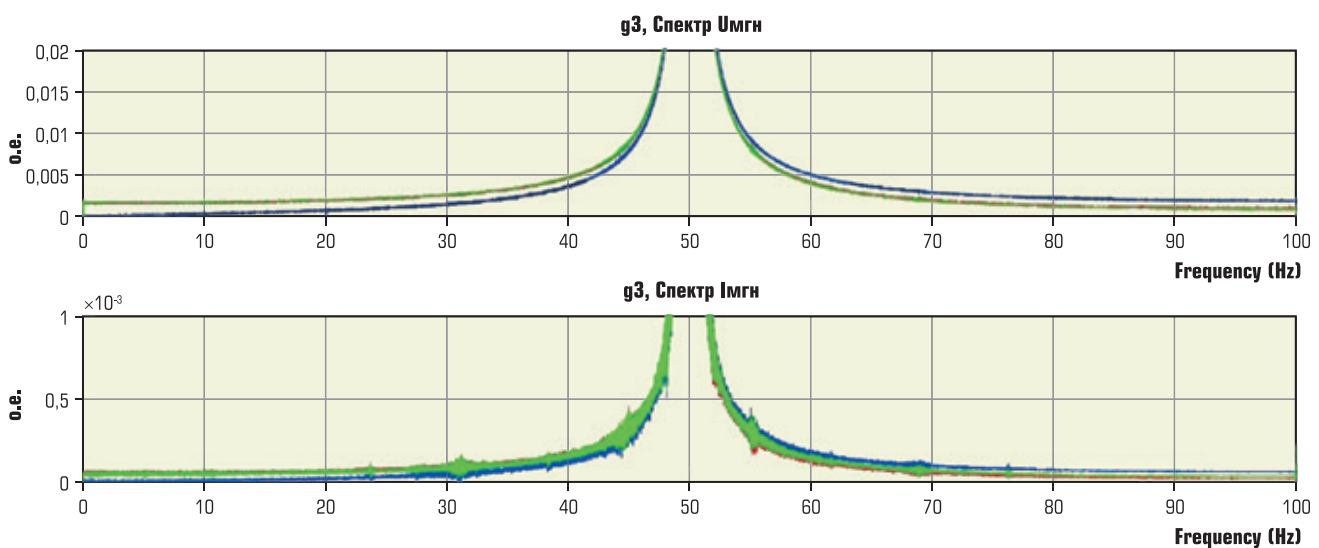
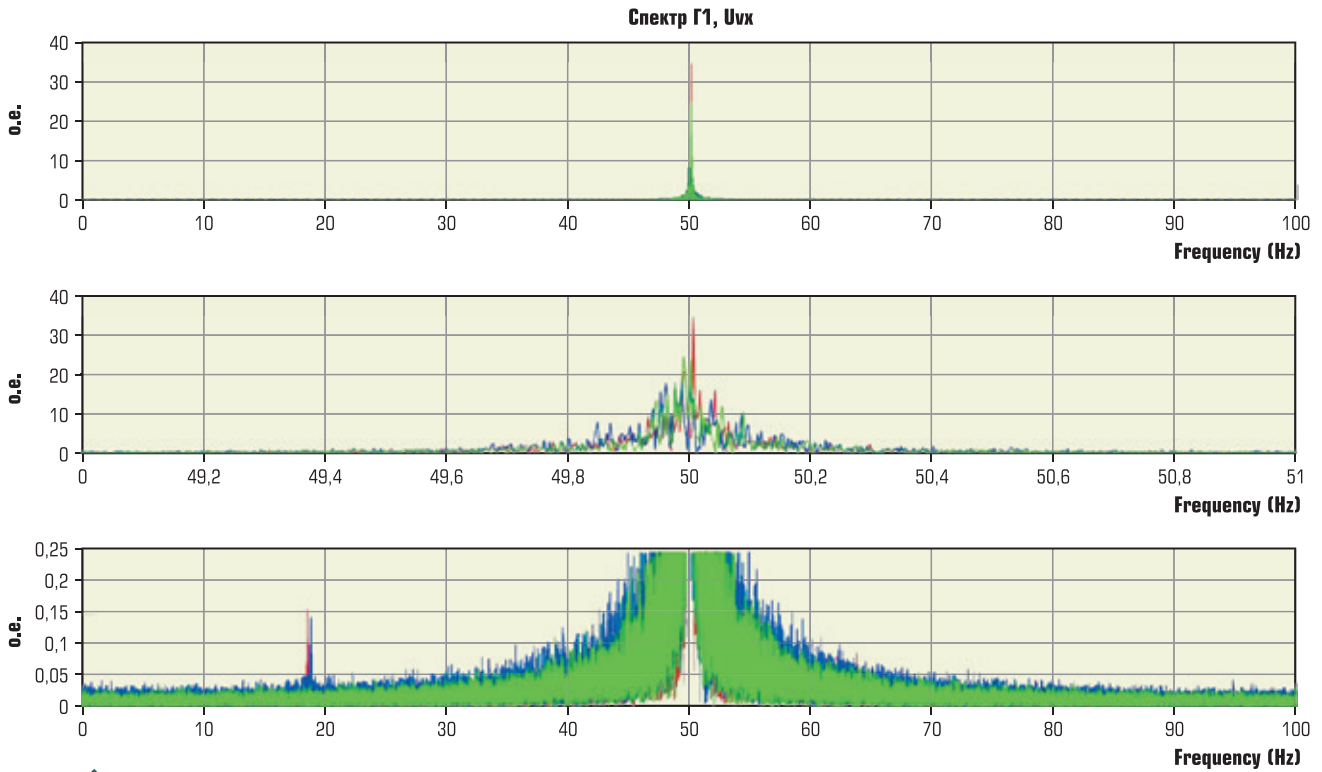


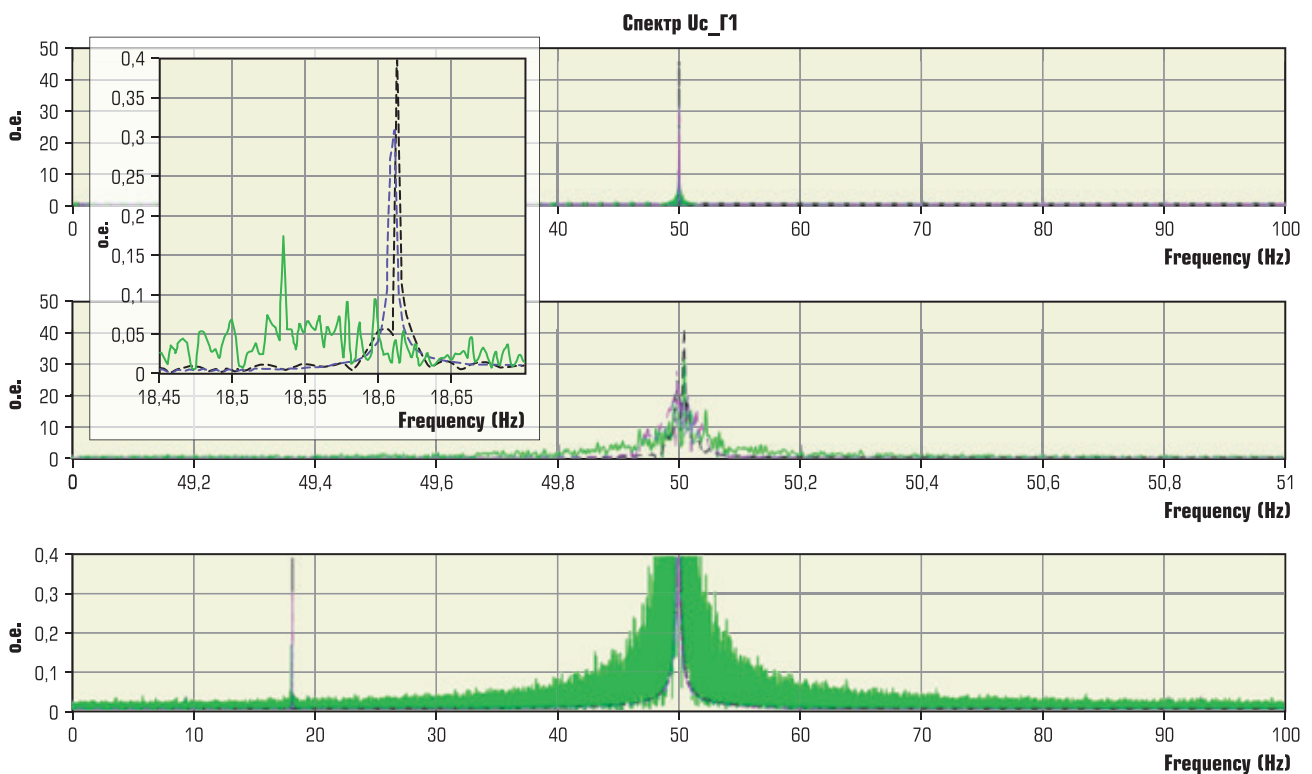
Рис. 5. Различные виды подсинхронных колебаний в фазных напряжениях генератора Г3

Далее (рис. 6 – рис. 9) приведены результаты анализа синхронизированных мгновенных измерений 2024 года, проведенных после ремонта генераторов.

В спектре напряжения (рис. 6) также проявляются подсинхронные колебания, а в спектре напряжения генератора ГЗ (зеленая кривая) колебания на этих частотах отсутствуют.



▲ Рис. 6. Подсинхронные колебания в фазных напряжениях генераторов Г1, Г2



▲ Рис. 7. Спектр напряжения фазы С генератора Г1 в различных ситуациях, изменение спектра во времени

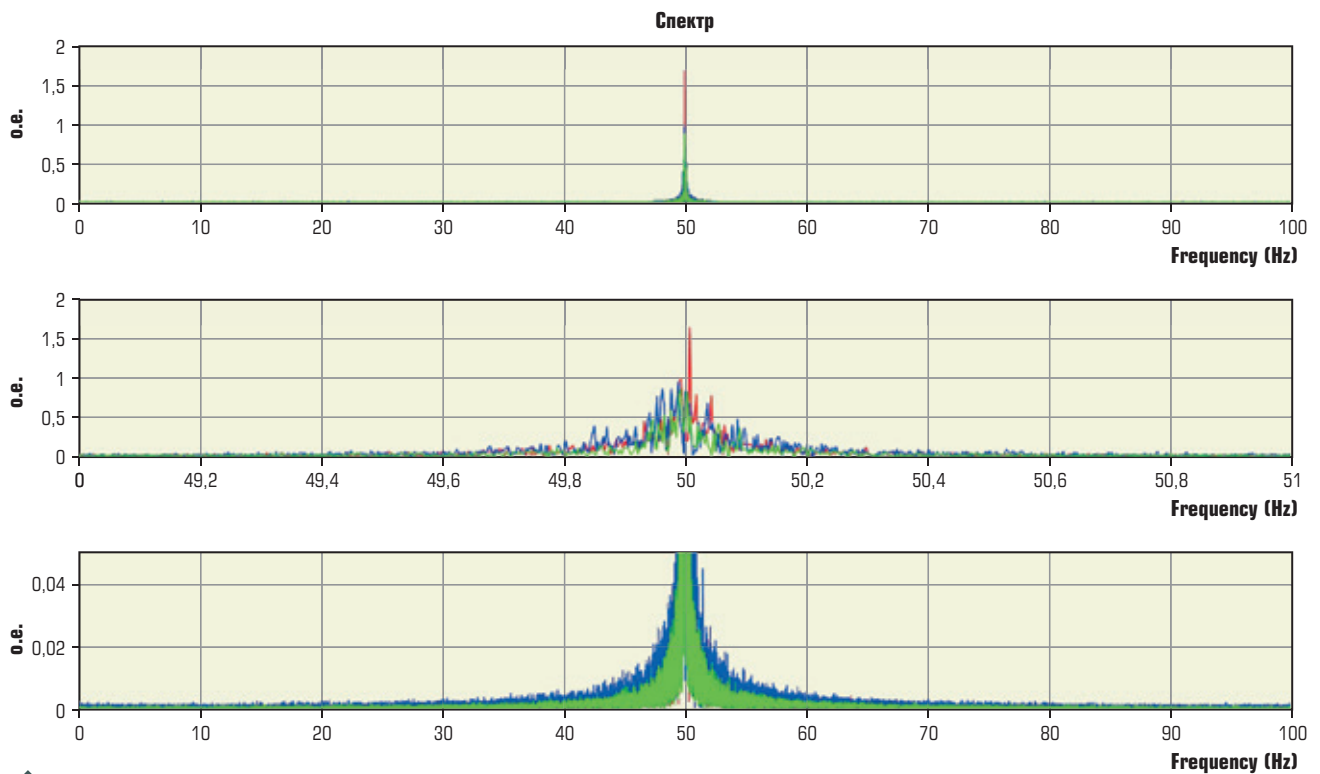


Рис. 8. Иллюстрация подсинхронных колебаний в фазных токах генераторов Г1-Г3

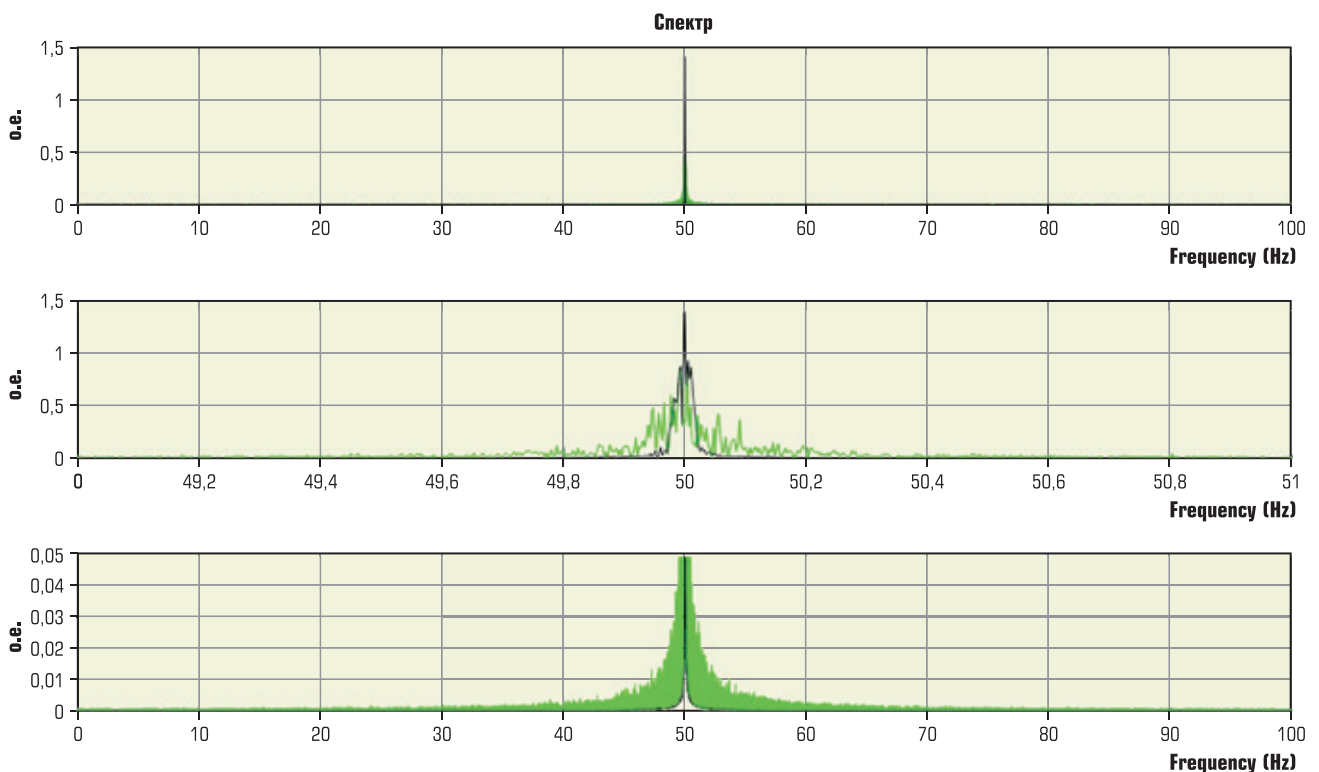


Рис. 9. Подсинхронные колебания тока фазы С генератора Г1

На рисунке 7 зеленые кривые – фаза напряжения С 2024 года. После ремонта наблюдается уменьшение спектральной составляющей крутильных колебаний, но существенно увеличился дребезг спектра номинальной частоты

(зеленые линии (2024), по сравнению с темными (2021)).

На рисунке 8 видно, что в спектре тока статора после ремонта практически нет составляющих колебаний, вызванных повреждениями ротора.

В спектре тока статора (рис. 9) после ремонта практически нет колебаний, вызванных повреждениями ротора, однако увеличился дребезг спектра номинальной частоты, что проявляется в любом масштабе

(зеленые линии 2024 г. по сравнению с теми же 2021 г.).

Ниже (рис. 10 – рис. 14) приводится оценка отдельных режимных параметров по измерениям УСВИ.

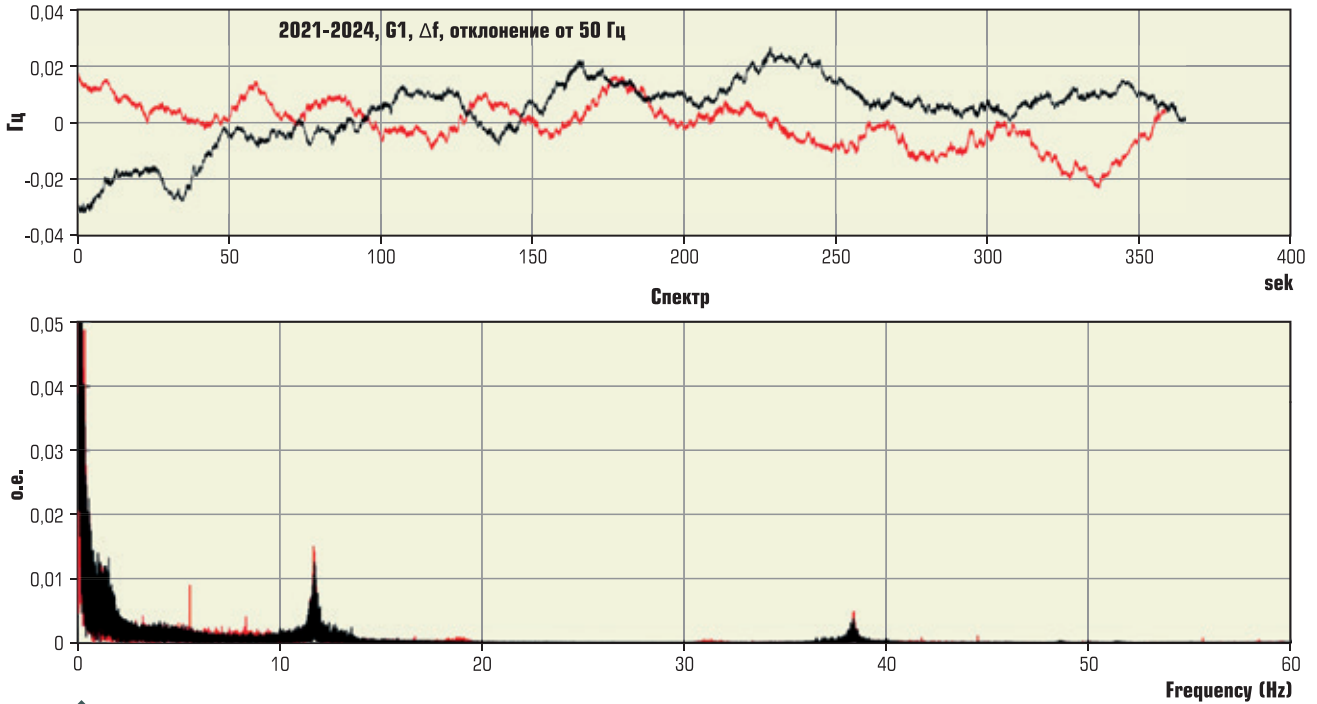


Рис. 10. Отклонение частоты Г1 от номинального значения, рассчитанное интегральным преобразованием Фурье. Спектры для двух лет наблюдения совмещены. Черный цвет – 2024 г., красный – 2021 г.

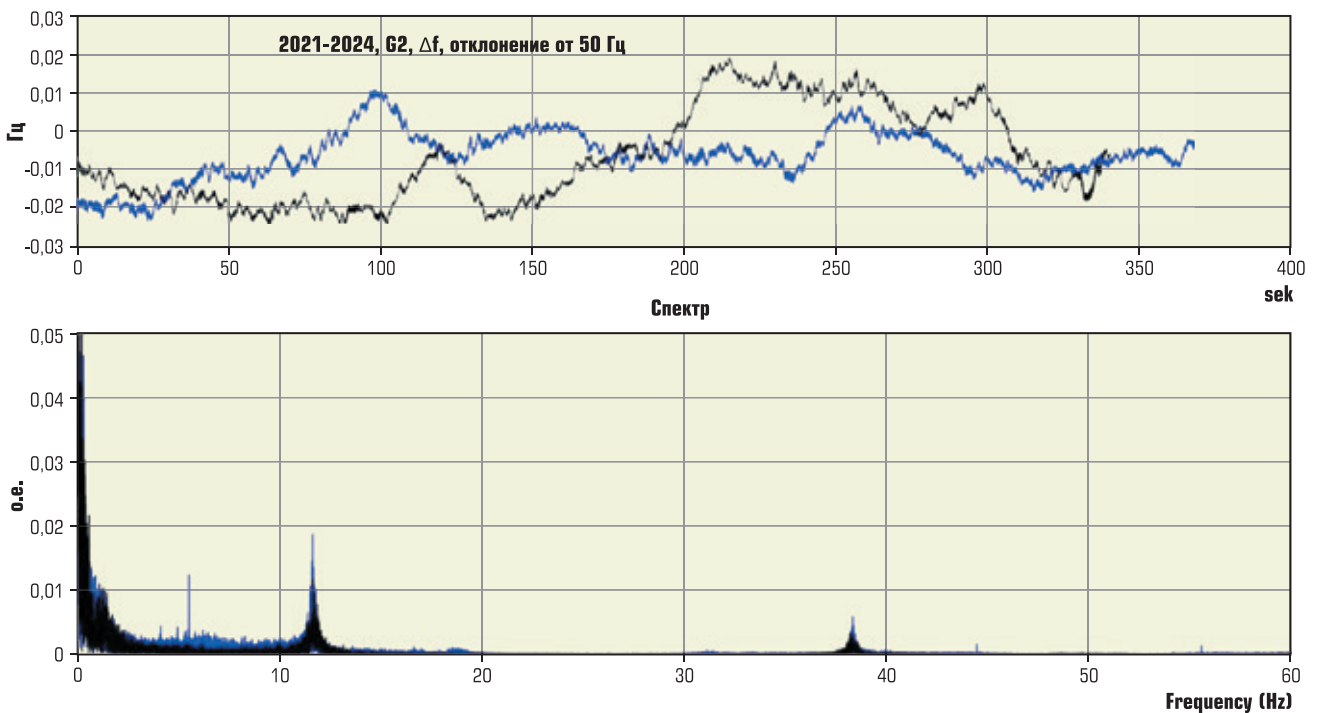


Рис. 11. Отклонение частоты генератора Г2 от номинального значения, рассчитанная интегральным преобразованием Фурье. Спектры для двух годов наблюдения совмещены. Черный - 2024 г., синий – 2021 г.

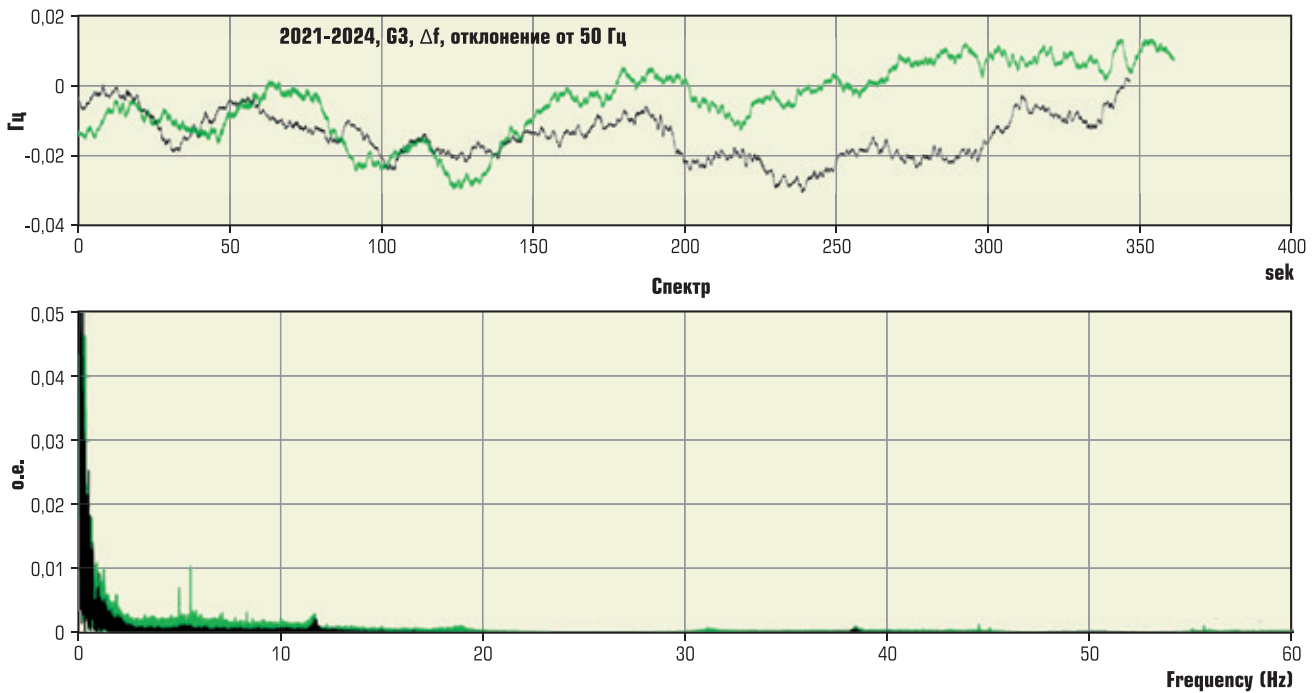


Рис. 12. Отклонение частоты ГЗ от номинального значения, рассчитанная интегральным преобразованием Фурье. Спектры для двух годов наблюдения совмещены. Черный – 2024 г., зеленый – 2021 г.

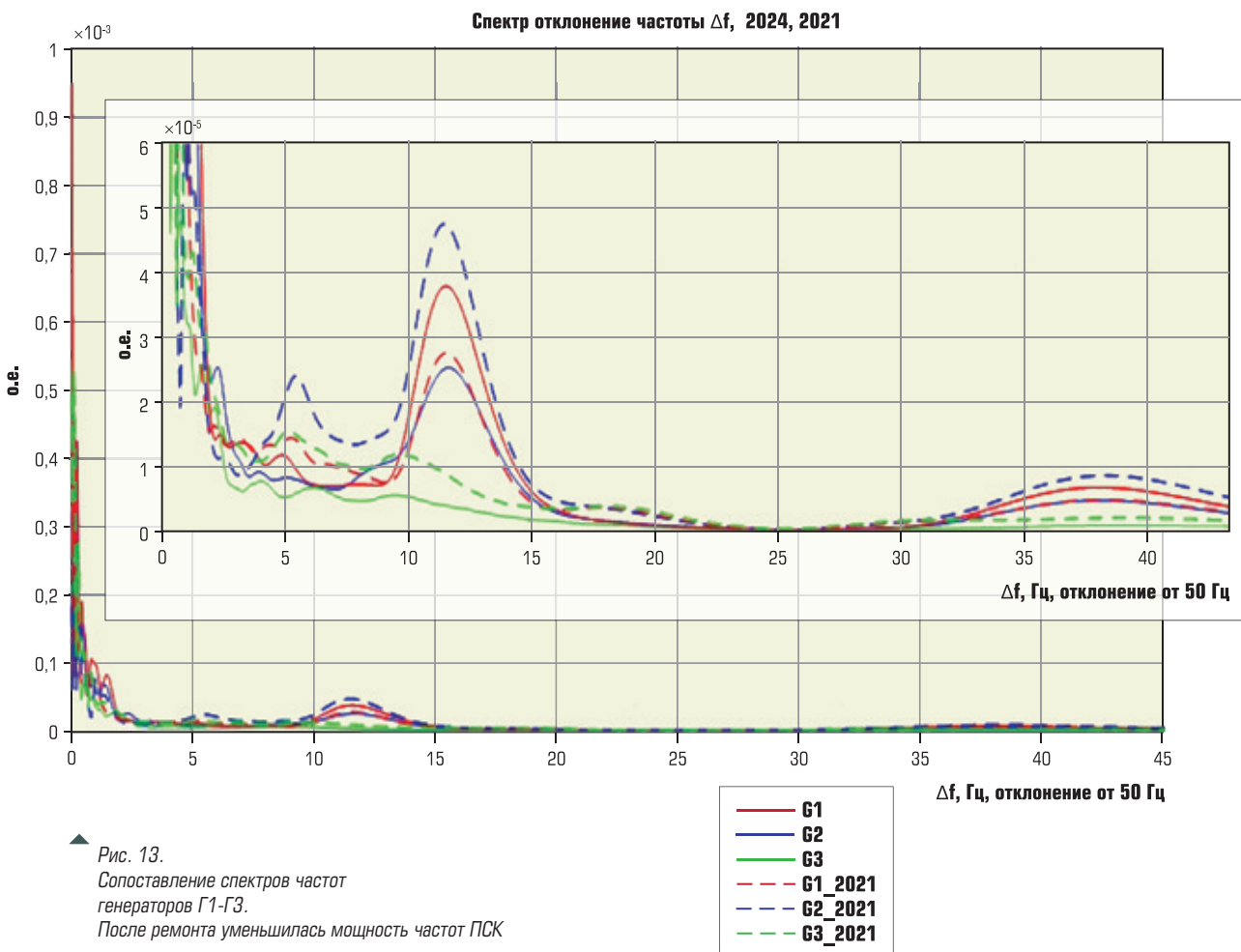


Рис. 13. Сопоставление спектров частот генераторов Г1-Г3. После ремонта уменьшилась мощность частот ПСК

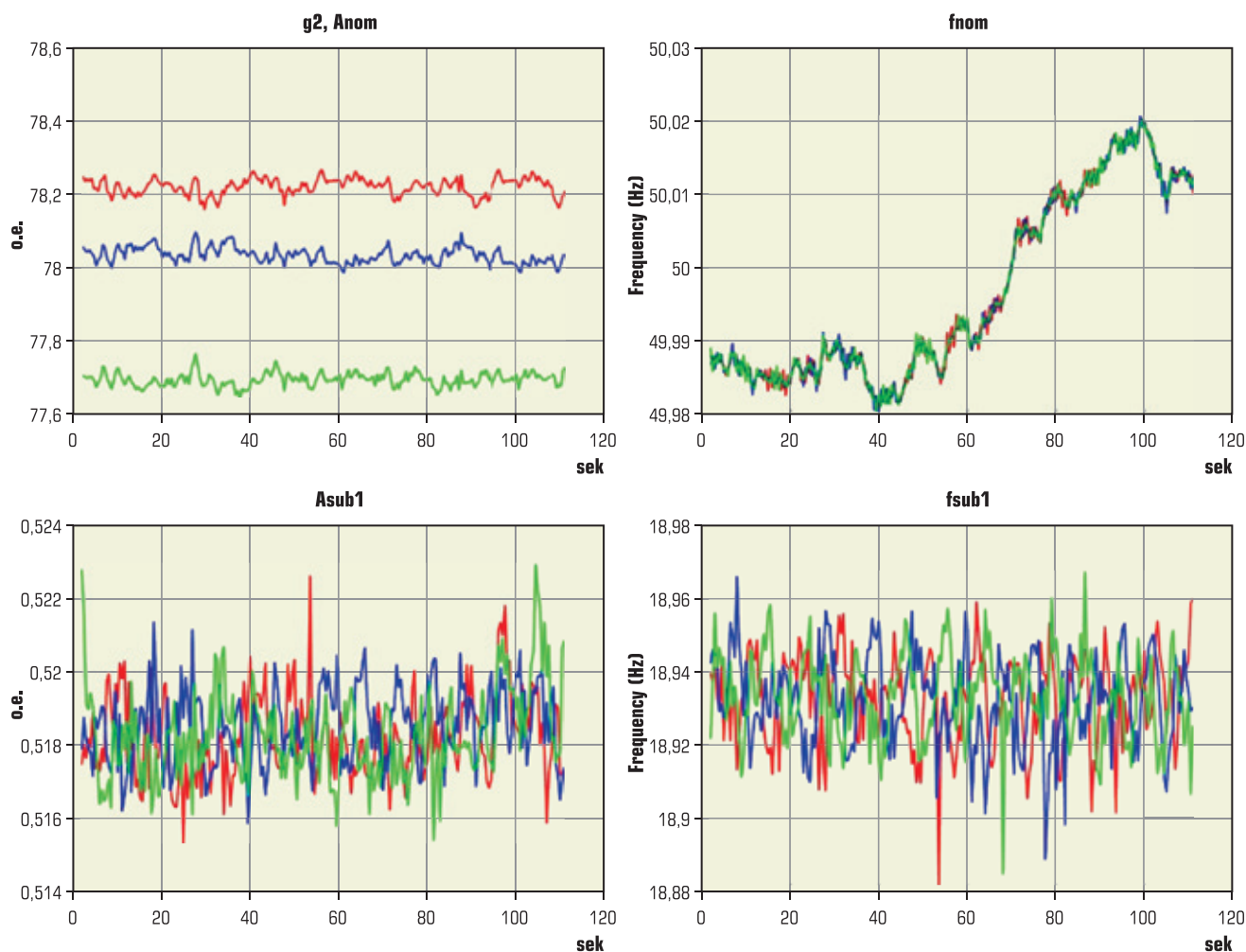


Рис. 14. Оценка параметров отдельных составляющих наблюдаемых процессов

На рисунке 14 представлены оценки амплитуд (Anom, Asub1) и частот (fnom, fsub1) отдельных фаз напряжения промышленной частоты и подсинхронных колебаний генератора Г2 (2021 г.).

ВЫВОДЫ

При использовании устройств синхронизированных векторных измерений (УСВИ) типа МИП-02А-40.01М и МИП-02А-40.05М. УСВИ МИП-02А-40.05М проведены:

1. Сравнение измерений, выполненных с большим интервалом времени, позволяет “увидеть” в различных сигналах происходящие изменения признаков аварии и прогнозировать их дальнейшее развитие.
2. На измерениях 2021 года выявлены признаки крутильных колебаний вала генераторов на частоте 11,4 Гц, что может представлять угрозу работе станции.

Плановый ремонт положительно сказался на характеристиках генераторов, о чем говорит уменьшение амплитуды выявленных ранее гармоник.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Комбинированные измерения (синхронизированные векторные измерения и синхронизированные мгновенные измерения), реализованные в УСВИ компанией “Искра технологии”, предоставляют простой способ выявления возможных механических повреждений генераторов на ранней стадии без применения специальных систем диагностики. Дальнейшая разработка методов анализа мгновенных синхронизированных измерений позволит определять появление и проводить прогнозирование развития различных дефектов генераторов и других электроэнергетических объектов [4, 5].

Список литературы

1. *Zhongming Ye, Bin Wu, Alireza Sadeghian.* Current Signature Analysis of Induction Motor Mechanical Faults by Wavelet Packet Decomposition. *IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS*, VOL. 50, NO. 6, DECEMBER 2003.
2. *Dubravko Miljković.* Brief Review of Motor Current Signature Analysis, presented at HDKBR info, 15 (2015), Croatia, April 29, 2015.
3. *Климова Т.Г., Ревакин В.А.* Субсинхронные и суперсинхронные колебания в электроэнергетической системе: возникновение идентификация, обзор. *Энергетик.* 2022, № 5, с. 27-32.
4. *Казakov П.Н., Bagleybter O., Cebotari S., Barba R.* АО “РТСофт”, GE Renewable Energy, Россия, Великобритания. Диагностика торсионных колебаний генераторов на базе синхронизированных измерений. Доклад. Конференция РЗА-2021, с. 4.
5. *Review A, Sudip Halder, Sunil Bhat, Daria Zychma, Pawel Sowa.* Broken Rotor Bar Fault Diagnosis Techniques Based on Motor Current Signature Analysis for Induction Motor. *Energies* 2022, 15, 8569. <https://doi.org/10.3390/en15228569>

НИУ “МЭИ”:

Климова Татьяна Георгиевна – канд. техн. наук, доцент НИУ “МЭИ”.

АО “Искра Технологии”:

Казakov Павел Николаевич – главный специалист,

Сизов Александр Сергеевич – руководитель группы технического развития.