

тическим данным составляет около 60% [1–6]. Обеспечить непрерывность электроснабжения сельских потребителей в таких условиях эксплуатации практически невозможно. Проведённые ранее исследования переходных процессов [7–11] указывают одну из основных причин отключения линий электропередач, но есть и много других причин, нарушающих бесперебойность электроснабжения потребителей. Поэтому поиск новых теоретических решений и разработка практических рекомендаций по обеспечению бесперебойности электроснабжения сельских потребителей с применением альтернативных источников электроэнергии являются актуальной проблемой.

**Цель работы** – экспериментальное исследование характеристик тока, напряжения, числа и продолжительности отключений потребителей с применением альтернативных источников электроэнергии на экспериментальной установке.

**Материал и методы исследования.** Моделирование режимов работы экспериментальной установки осуществляется по авторским решениям на стенде (рис. 1), собранном на кафедре электроснабжения сельского хозяйства Оренбургского ГАУ.

Экспериментальная установка позволяет исследовать бесперебойность электроснабжения потребителей как с подключением альтернативных источников электроэнергии к централизованной сети, так и без неё.

Обеспечение бесперебойности электроснабжения потребителей осуществляется также и для условий параллельной работы альтернативных источников электроэнергии с централизованной электрической сетью [12, 13].

Схема работы экспериментальной установки по бесперебойности электроснабжения с применением альтернативных источников электроэнергии совместно с централизованной электрической сетью представлена на рисунке 2. Перечень и технические характеристики оборудования представлены в таблице.

Измерение и запись параметров работы экспериментальной установки осуществляется с помощью USB-осциллографа АК ИП 72204А.

Методика его работы предусматривает:

1) подключение осциллографа к компьютеру в соответствии с рисунком 3;

2) установление требуемого режима работы USB-осциллографа.

Программное обеспечение осциллографа АК ИП может работать в трёх режимах: режим осциллографа, режим отображения спектра и режим послесвечения. Режим необходимо выбрать кнопками на Capture Setup Toolbar/Панели инструментов захвата.

Методика проведения экспериментов требует выполнения определённых действий.

• На отключённом от сети электропитания стенде необходимо соединить гнезда защитного



Рис. 1 – Моделирование бесперебойности электроснабжения сельских потребителей на экспериментальной установке

заземления «⊕» устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «PE» однофазного источника питания G1. Соединить аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений.

• Включить автоматический выключатель и устройство защитного отключения (УЗО) источника G1, включить автоматический выключатель аккумуляторной батареи G3.

• Вращая регулировочную рукоятку автотрансформатора A1 по его вольтметру, установить напряжение 220 В.

• Включить выключатель A2.

• Нажать кнопку ВКЛ/ВЫКЛ блока A3, при этом должен загореться экран САП.

#### Перечень оборудования

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
G1	однофазный источник питания	218.5	220 В, 6 А
G2	инвертор	3376	220 В, 1,3 кВт
G3	аккумуляторная батарея	398.4	60 Ач, 12 В
A1	автотрансформатор	318.3	0–250В, 2 кВА
A2	однофазный выключатель	2304	220 В, 10 А
A3	блок системы автоматического пуска электростанций	3382	220 В, 3,5 кВт
A4	блок нагрузки (масляный обогреватель)	1464	220 В, трехступенчатый, 400/600/1000 Вт
M1	однофазный асинхронный двигатель		220 В, 1,1 кВт, 3000 об/мин
G4	инверторный генератор		220 В, 50 Гц, 1,0 кВт

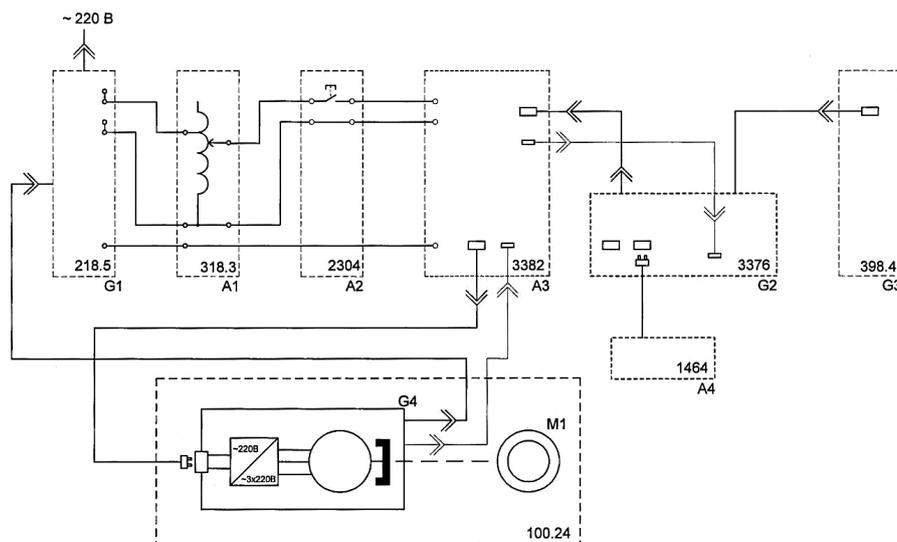


Рис. 2 – Схема стенда по исследованию бесперебойности электроснабжения потребителей

• С помощью кнопок УСТАВКА и ВЫБОР блока А3 ввести следующие данные:

- Сеть -> Время Появления -> 5 секунд;
- Генератор -> Время Появления -> 5 секунд;
- Генератор -> Время Отсутствия -> 5 секунд;
- Генератор Время ПровСтарта -> 5 секунд;
- Генератор -> Время Прогрева 5 секунд;
- Генератор -> Время Остывания -> 5 секунд;

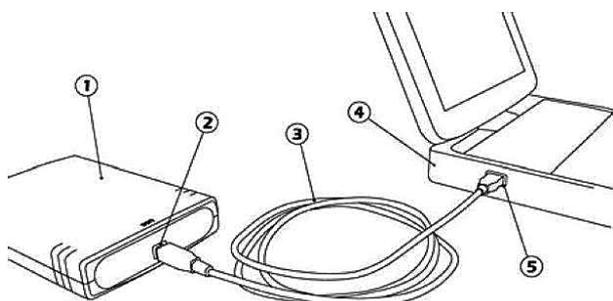


Рис. 3 – Подключение USB-осциллографа АК ИП к компьютеру:

1 – USB-осциллограф АК ИП; 2 – USB-порт осциллографа АК ИП; 3 – кабель USB; 4 – персональный компьютер (ноутбук); 5 – USB порт персонального компьютера (ноутбука)

- Генератор -> Время ПровОстан -> 5 секунд;
- АКБ Нижн. Порог АКБ -> 2 В;
- АКБ Верхн. Порог АКБ -> 5 В;
- Режим работы -> Автоматический.

• Переключатель инвертора G2 перевести в положение ВКЛ. Если аккумуляторная батарея разряжена, будет издаваться звуковой сигнал.

• С помощью кнопок ЗАРЯД и СТАРТ инвертора G2 ввести данные аккумуляторной батареи G3:

- Параметры АКБ -> Ёмкость АКБ -> 0050 на 12В;

- Параметры АКБ -> Ток Заряда нач -> 0, 3С;
- Параметры АКБ -> Uакб Старт Заряд -> 12,5В;
- Параметры АКБ -> UакбПоддержЗаряд -> 13,6В;

- Параметры АКБ -> Uакб Конец Заряд -> 14,5В;

- Сеть, ЭнергЭконом -> МаксМощностьСети -> 1000 Вт или 1 кВт;

- Сеть, ЭнергЭконом -> Управление сетью/Генерация -> Трансляция+Заряд;

- Генерация МАП -> ПодкачкаСети Pmax Hybrid -> Выключено.

- Перевести регулировочную рукоятку масляного обогревателя в положение MAX.

- Перевести переключатель масляного обогревателя в положение I.

- Измерить значения напряжения сети  $U$ , мощности нагрузки  $P$  и напряжение аккумуляторной батареи  $U_{акб}$ .

- Отключить выключатель блока А2 и через непродолжительный интервал времени 5с включить его вновь и сразу же измерить значения напряжения сети  $U$  и мощности  $P$  нагрузки, напряжение аккумуляторной батареи  $U_{акб}$ .

- С интервалом 10 с измерить значения напряжения сети  $U$ , мощности  $P$  нагрузки и напряжения аккумуляторной батареи  $U_{акб}$

Во время проведения эксперимента возможен запуск генератора, если долго была отключена сеть и напряжение аккумуляторной батареи стало меньше значения, заданного параметром Акб Старт Заряд.

- По завершении эксперимента установить регулировочную рукоятку масляного обогревателя в положение MIN, переключатель масляного обогревателя в положение 0. Отключить выключатель АВТОМАТ ЗАЩИТЫ инвертора G2, переключатель перевести в положение ВЫКЛ. Установить

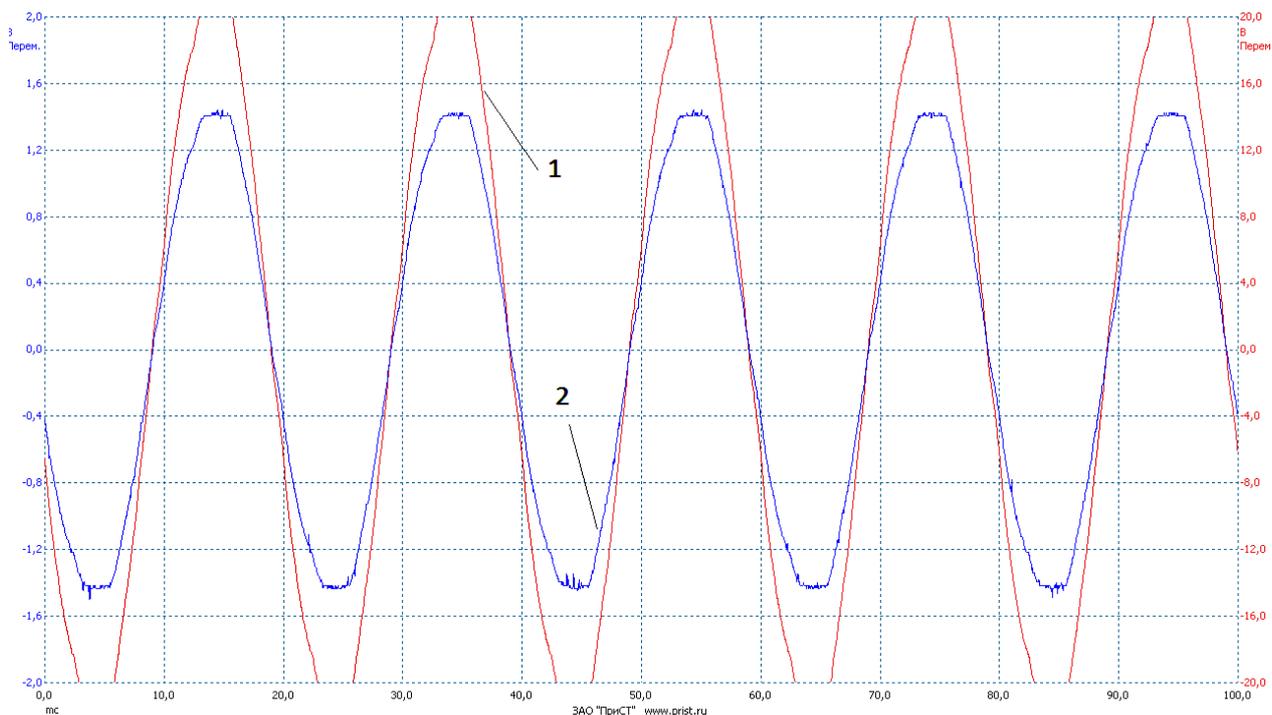


Рис. 4 – Эксперимент № 1:  
осциллограмма тока (1) и напряжения (2) при параллельной работе экспериментальной установки с централизованной электрической сетью

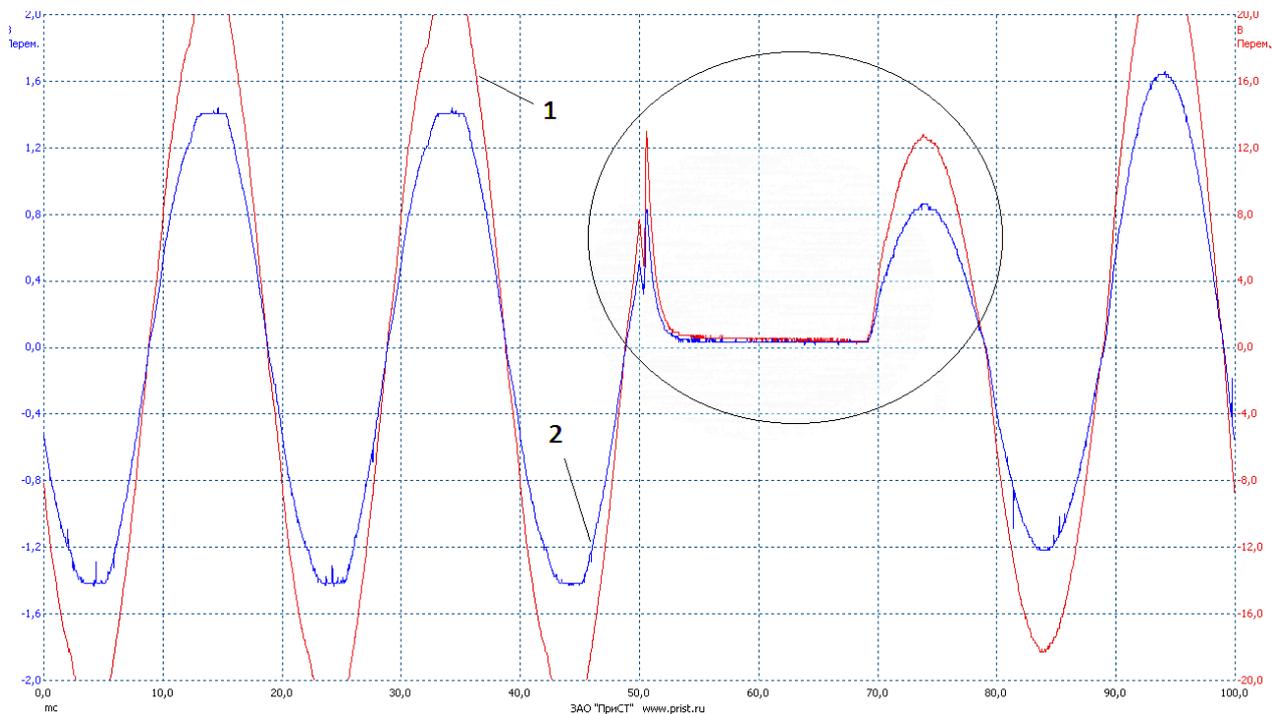


Рис. 5 – Эксперимент № 2:  
осциллограмма тока (1) и напряжения (2) в момент отключения централизованной электрической сети и переход на питание потребителя от аккумуляторной батареи через инвертор

регулирующую рукоятку автотрансформатора А1 в крайнее против часовой стрелки положение. Отключить автоматический выключатель источника G1.

- Используя возможности USB-осциллографа, необходимо проанализировать полученные осциллограммы тока и напряжения. Определить по ним также число и длительность отключений потребителей.

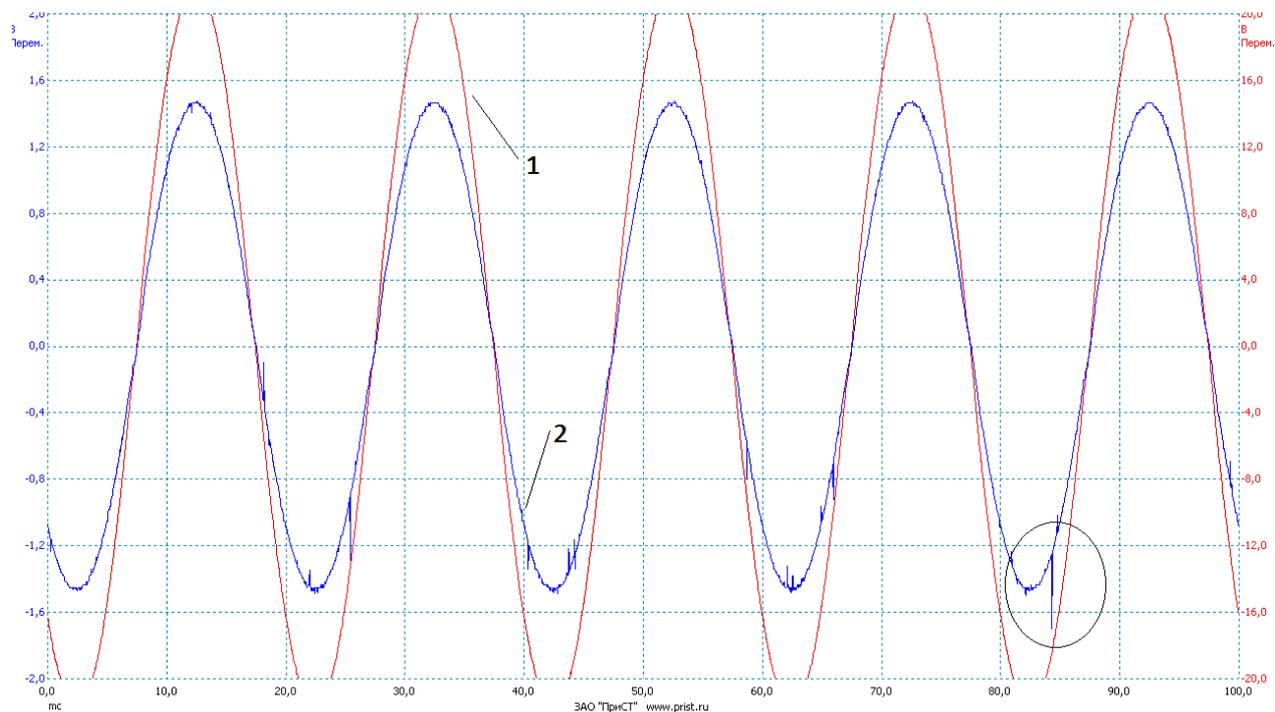


Рис. 6 – Эксперимент № 3:  
осциллограмма тока (1) и напряжения (2) в момент подключения генератора для питания потребителя и подзарядки аккумулятора

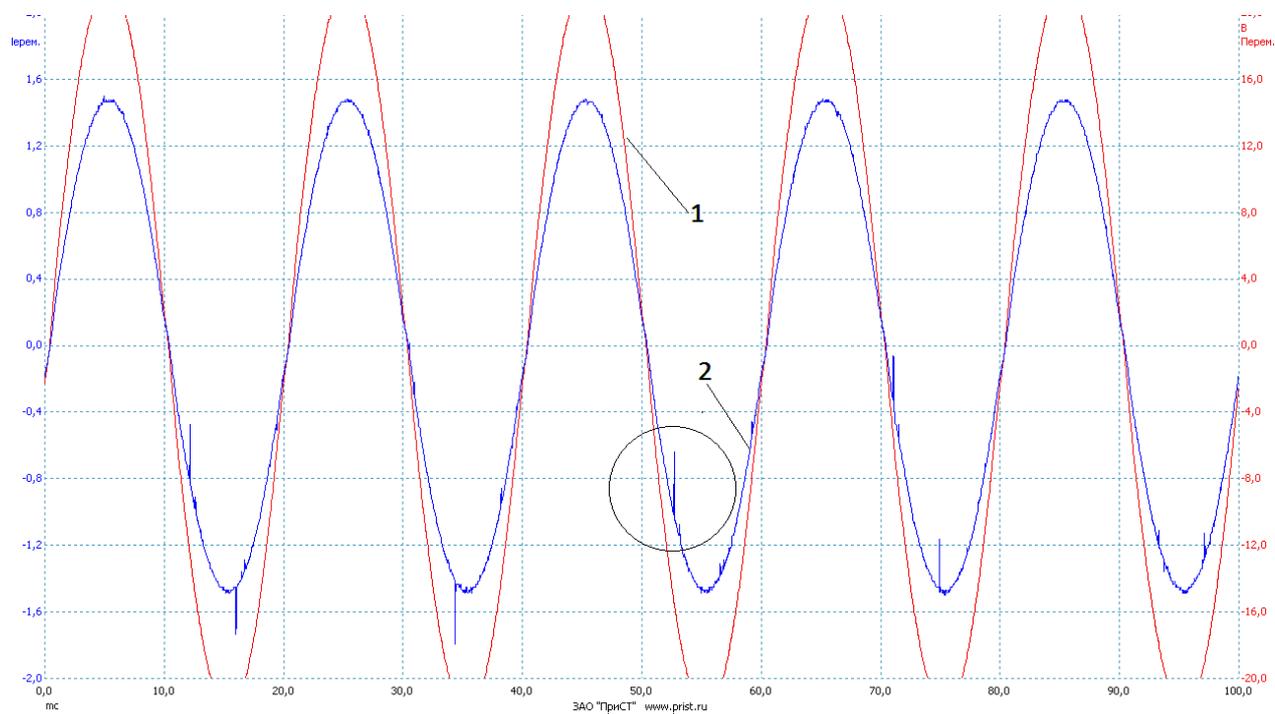


Рис. 7 – Эксперимент № 4:  
осциллограмма тока (1) и напряжения (2) при автономной работе альтернативных источников электроэнергии

• Для разных режимов работы экспериментальной установки возможно более широкое использование цифровых технологий в системе управления [14].

#### Результаты экспериментального исследования.

Эксперимент № 1. Параллельная работа экспериментальной установки с централизованной электрической сетью.

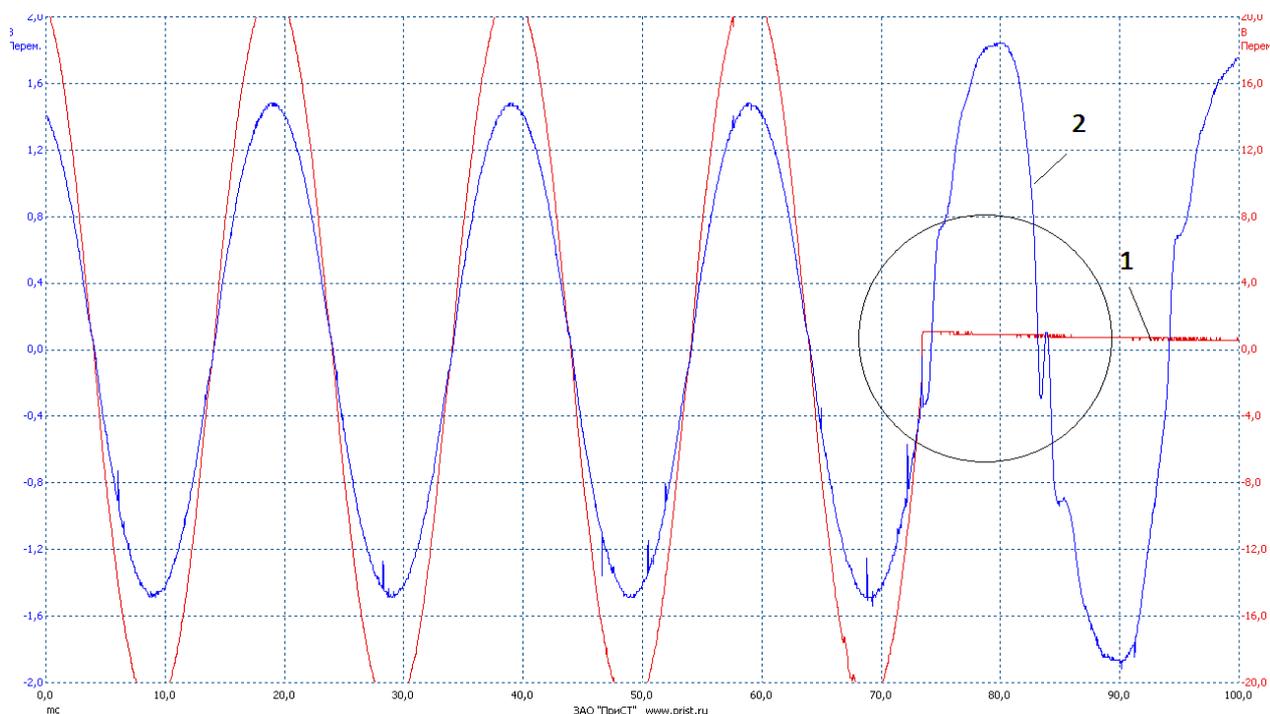


Рис. 8—Эксперимент № 5: осциллограмма тока (1) и напряжения (2) в момент отключения нагрузки при автономной работе альтернативных источников

Эксперимент № 2. Отключение централизованной электрической сети и переход на питание потребителя от аккумуляторной батареи через инвертор.

Эксперимент № 3. Подключение генератора для питания потребителя и подзарядки аккумулятора.

Эксперимент № 4. Питание потребителя при автономной работе альтернативных источников электроэнергии.

Эксперимент № 5. Отключение нагрузки при автономной работе альтернативных источников.

Анализ осциллограмм показывает:

1. При параллельной работе альтернативных источников электроэнергии с электрической сетью без коммутационных процессов, в номинальном режиме работы электрооборудования осциллограммы тока и напряжения имеют синусоидальную форму без всплесков (искажений) (рис. 4).

2. При отключении электрической сети и включении инвертора с аккумуляторной батареей перерыв в питании нагрузки равен 20 мс, что составляет 2 полупериода синусоиды тока и напряжения (рис. 5).

3. При подключении генератора для питания нагрузки и подзарядки аккумулятора всплеск напряжения составил 13 В, изменение тока составило менее 0,05 А (рис. 6), что можно считать мягким включением генератора.

4. При автономной работе экспериментальной установки от аккумуляторной батареи (при отключенном генераторе) осциллограммы (рис. 7)

показывают незначительное отклонение тока и напряжения от синусоидальной формы.

5. В случае отключения нагрузки при автономной работе экспериментальной установки (рис. 8) виден процесс приближения значения тока к нулю, что показывает корректную работу коммутационной аппаратуры.

**Вывод.** Результаты экспериментального исследования работы экспериментальной установки с применением альтернативных источников электроэнергии при отключении централизованной электрической сети показывают бесперебойное электроснабжение потребителей в соответствии с требованиями нормативно-технической документации.

### Литература

1. Рекомендации и предложения по созданию устойчивых и экономически эффективных локальных систем электроснабжения сельских поселений от 100 до 500 дворов на основе комплексного использования альтернативных источников электроэнергии / В.И. Чиндякин, Г.В. Петрова, С.А. Соловьев [и др.] Рассмотрены и одобрены на заседании Научно-технического совета Министерства сельского хозяйства РФ. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2009. 224 с.
2. Рапопорт А.Н., Кучеров Ю.Н. Актуальные задачи обеспечения надёжности электросетевого комплекса при развитии рыночных отношений в электроэнергетике // Энергетик. 2004. № 10. С. 2–6.
3. Яковлев В.Б., Расторгуев М.В. Анализ эффективности функционирования сельских распределительных электрических сетей // Электро-Info. 2006. № 3 (39). С. 26–29.
4. Князев В.В., Боков Г.С. Единая техническая политика в распределительном электросетевом комплексе // Электро-Info. 2006. № 12 (38).
5. Жуков В.В. Построение современных протяжных сетей 6–10 кВ / Жуков В.В., Максимов Б.К., В. Никодиму [и др.]

- // Энергетик. 2012. № 1. С. 28 – 34.
6. Стребков Д. С. Резонансные методы передачи электрической энергии. М., 2005.
  7. Чиндяскин В.И., Большаков Е. В. Экспериментальные исследования переходных процессов при подключении возобновляемых источников электроэнергии к электрическим сетям // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017. № 1 (63). С. 92–96.
  8. Грибков С. В. Ветроэнергетические установки России в автономных энергетических комплексах гарантированного питания. // Возобновляемая и малая энергетика-2006: матер. III междунар. конф. М., 2006. С. 124 – 130
  9. Кашфразиев Ю.А. Ветроэнергетические установки в России – роскошь или источник энергии? // Энергия: экономика, техника, экология. 2004. № 10. С. 34 – 39.
  10. Гром Ю. И. Новая ветродизельная электрическая установка / Ю.И. Гром, В.А. Захаренко, В.П. Харитонов [и др.] // Энергосбережение. 2005. № 5. С. 62 – 66.
  11. Сокольский А. К. Ветроэнергетика за рубежом и в России – современное состояние и перспективы: возобновляемые источники энергии. М., 2005. С. 135 – 154.
  12. Пат. № 2582386 RU. Ветроэнергетическая установка / Чиндяскин В. И., Митрофанов А.А.; опубл. 27.04.2016.
  13. Пат. № 2585161 RU. Погружная свободнопоточная микрогидроэлектростанция / Чиндяскин В.И., Попова А.А.; опубл. 27.05.2016.
  14. Чиндяскин В. И. Бесперебойное электроснабжение потребителей на основе альтернативных источников электроэнергии с применением цифровых технологий // Совершенствование инженерно-технического обеспечения производственных процессов и технологических систем: матер. междунар. науч.-практич. конф. 8 февраля 2019 г. Оренбург, 2019. С. 17 – 19.