

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

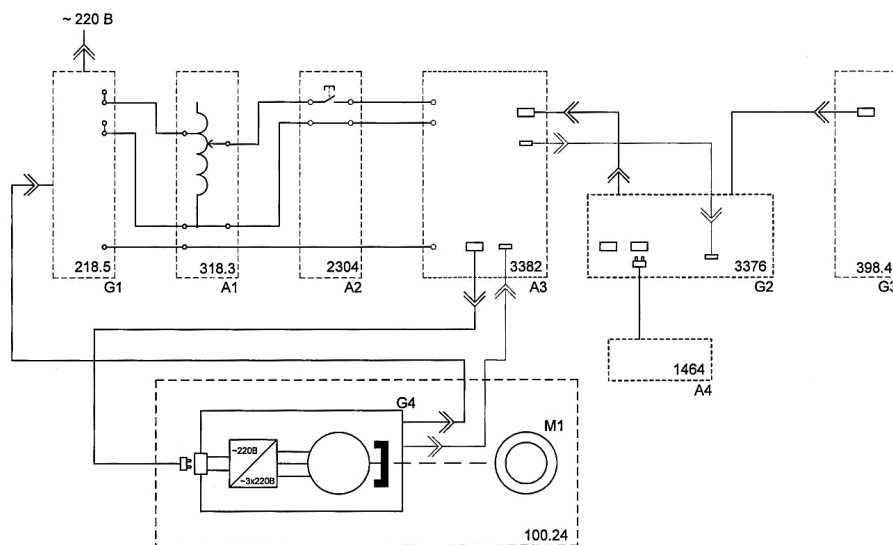


Рис. 2 – Схема стенда по исследованию бесперебойности электроснабжения потребителей

• 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;

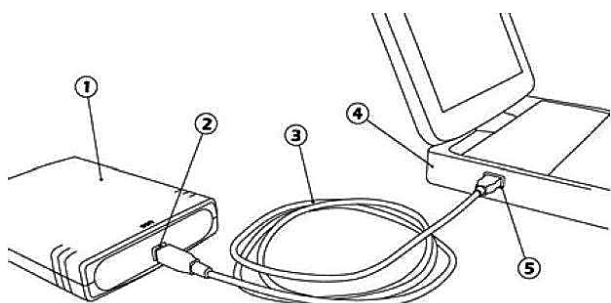


Рис. 3 – Подключение USB-осциллографа АК ИП к компьютеру:

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

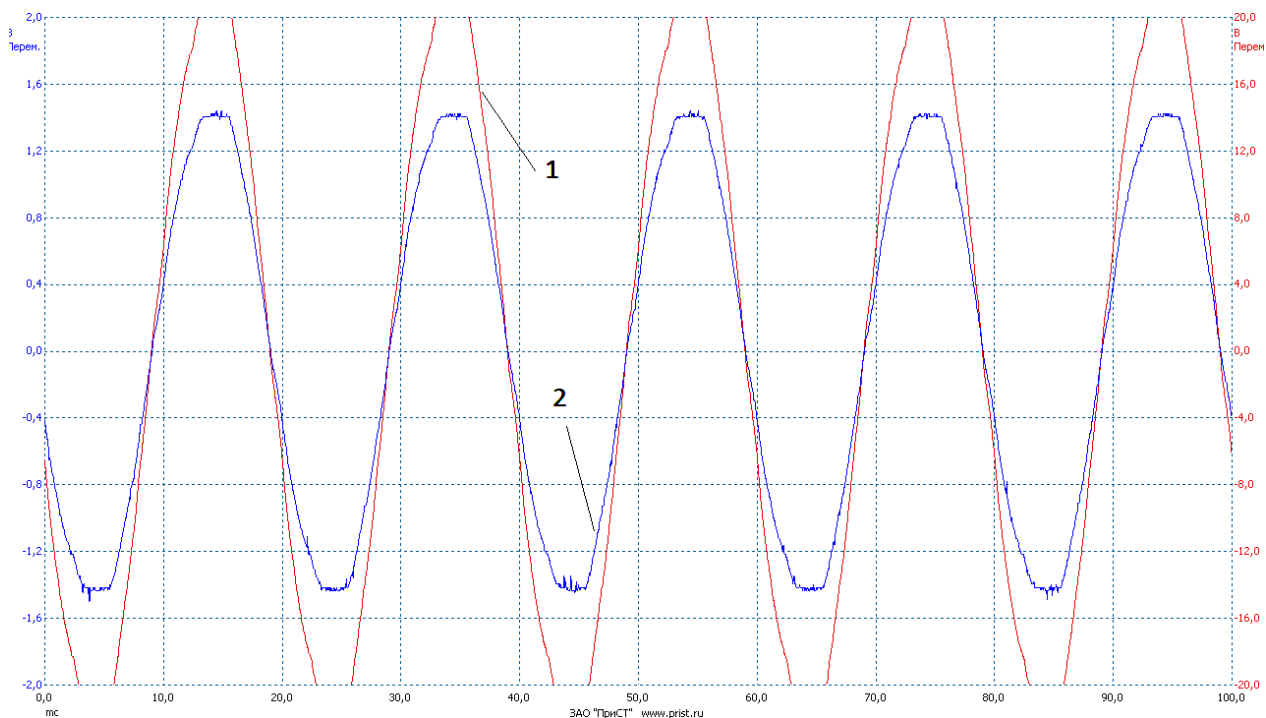


Рис. 4 – Эксперимент № 1:
осциллограмма тока (1) и напряжения (2) при параллельной работе экспериментальной установки с централизованной электрической сетью

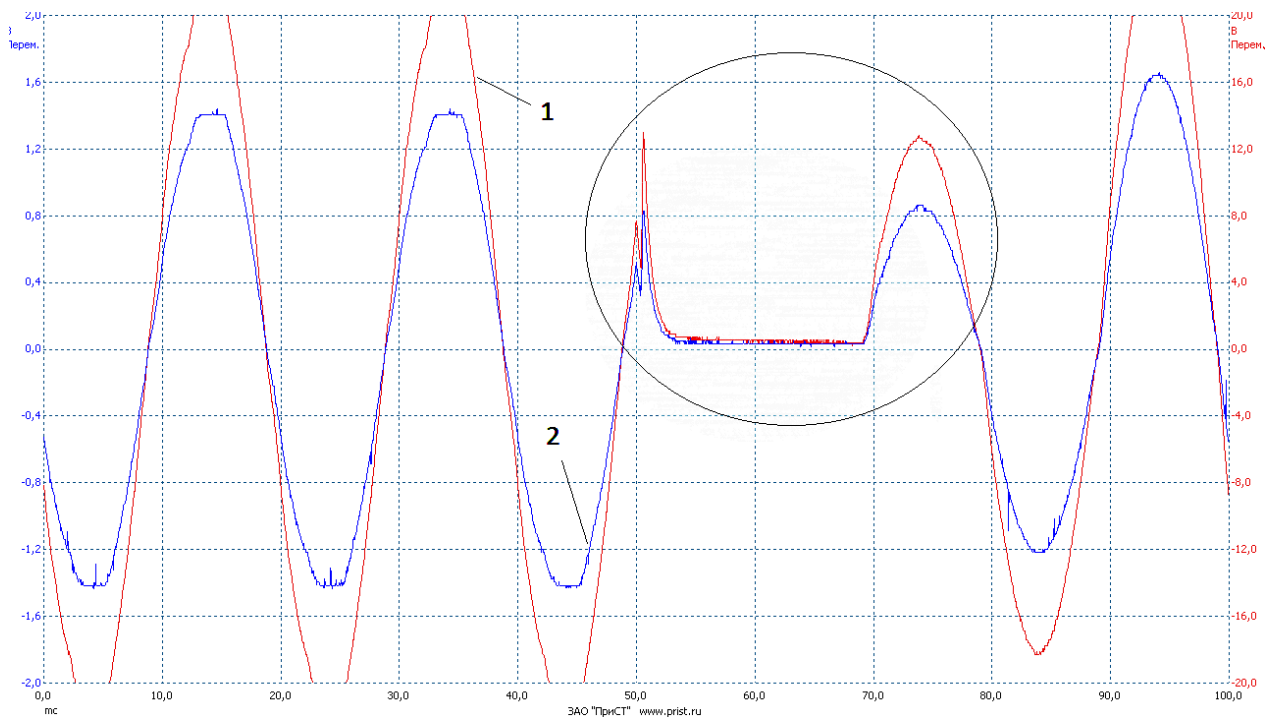


Рис. 5 – Эксперимент № 2:
осциллограмма тока (1) и напряжения (2) в момент отключения централизованной электрической сети и переход на питание потребителя от аккумуляторной батареи через инвертор

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.

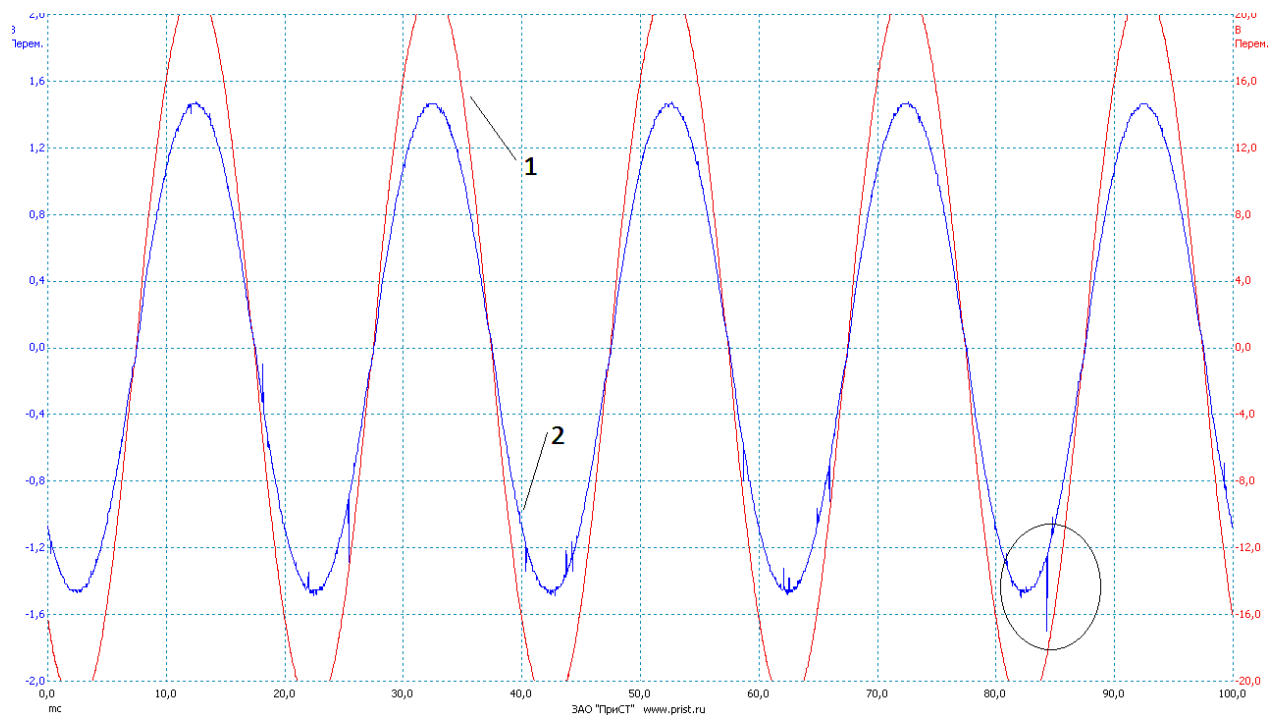


Рис. 6—Эксперимент № 3:
осциллограмма тока (1) и напряжения (2) в момент подключения генератора для питания потребителя и подзарядки аккумулятора

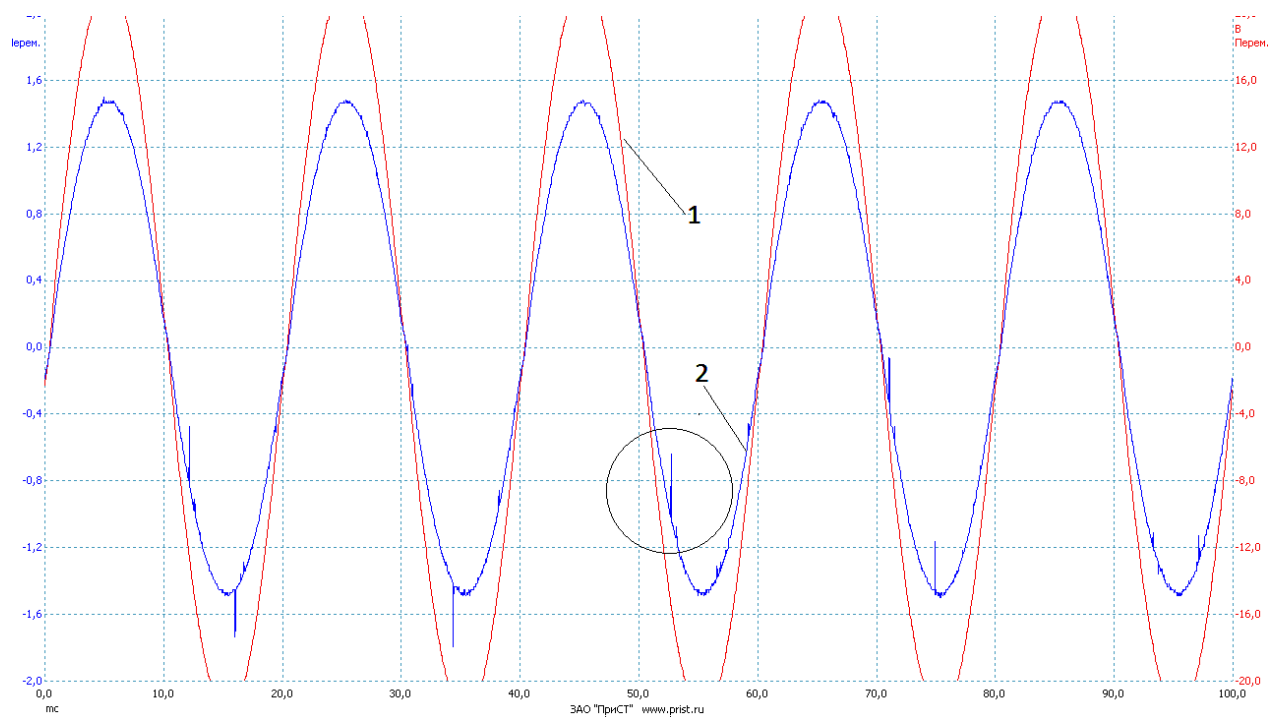


Рис. 7—Эксперимент № 4:
осциллограмма тока (1) и напряжения (2) при автономной работе альтернативных источников электроэнергии

• 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.

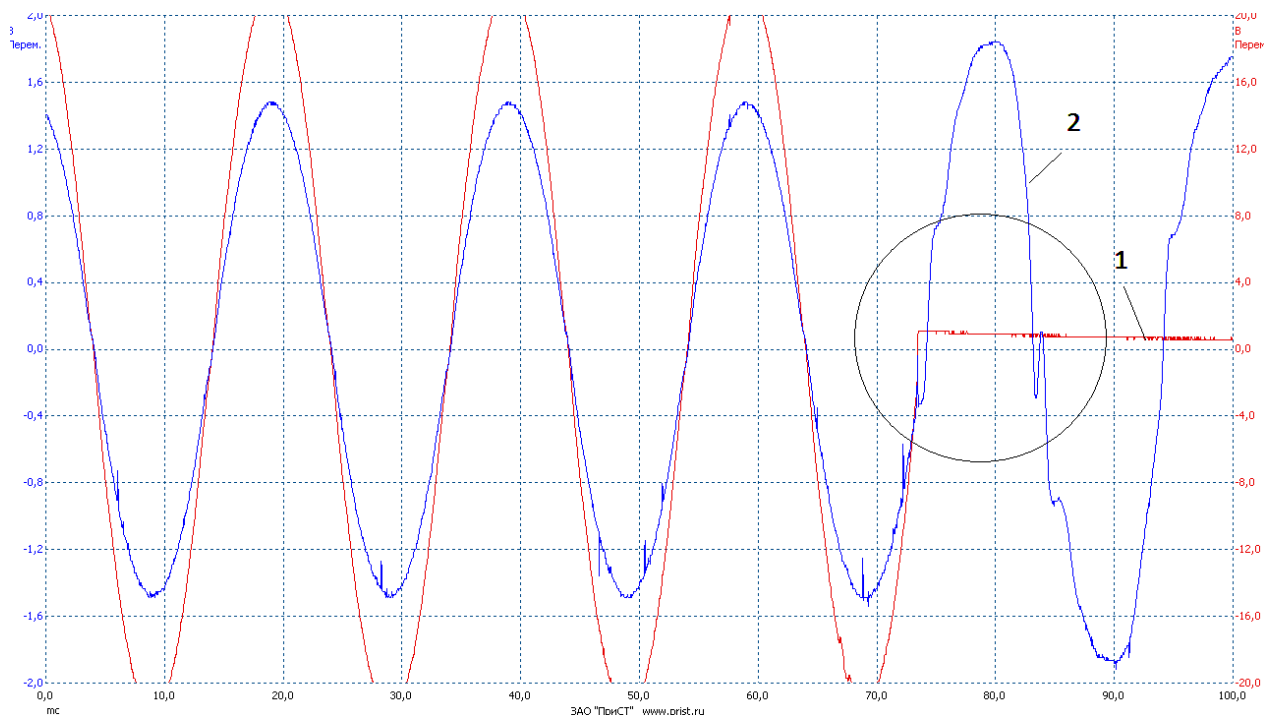


Рис. 8—Эксперимент № 5: осциллограмма тока (1) и напряжения (2) в момент отключения нагрузки при автономной работе альтернативных источников

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.