

# СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ РЕЗЕРВНОГО ПИТАНИЯ ПОДСТАНЦИИ С ПОМОЩЬЮ ЛИТИЙ-ИОННЫХ БАТАРЕЙ. ИСПЫТАНИЕ ОПЫТНОГО ОБРАЗЦА

АВТОРЫ:

Д.Е. ЛЕБЕДЕВ,  
А.М. ПОТАПЕНКО,  
«НТЦ РОССЕТИ ФСК ЕЭС»

С.С. ИВАНИЦКИЙ,  
ООО «СПТ»

**В** настоящее время на подстанциях постоянного тока широко распространено применение свинцово-кислотных аккумуляторных батарей.

Такие батареи имеют целый ряд преимуществ (надежность и длительный срок службы — 20 лет и более). Однако они также обладают существенными недостатками.

**Ключевые слова:** система оперативного постоянного тока; система обеспечения резервного питания; литий-ионная аккумуляторная батарея; аккумулятор; источник бесперебойного питания; толчковый ток; испытание.



Современные системы накопителей электроэнергии, основанные на аккумуляторных батареях, обеспечивают надежную, бесперебойную работу подстанций

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время идет интенсивное развитие систем накопления электрической энергии на базе электрических аккумуляторов. На смену традиционным свинцово-кислотным аккумуляторным батареям (СКАБ) приходят новые типы накопителей электрической энергии.

Одним из наиболее перспективных типов аккумуляторных батарей (АБ) являются литий-ионные аккумуляторные батареи (ЛИАБ), обладающие в ряде случаев существенными преимуществами по сравнению со СКАБ, получившими широкое распространение в том числе в составе систем оперативного постоянного тока (СОПТ).

Развитие решений с применением новых типов аккумуляторов в составе СОПТ требует проведения дополнительных разработок и исследований в данной области.

С целью апробации технических решений в части инновационных элементов системы резервного питания, позволяющих повысить надежность и наблюдаемость оборудования, а также снизить капиталовложения при новом строительстве и реконструкции подстанций (ПС), в рамках национального проекта «Энергоэффективная подстанция» был разработан, изготовлен и испытан опытный образец системы обеспечения резервного питания (СОРП) на базе ЛИАБ.

## ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА ВНЕДРЕНИЯ

В качестве объекта внедрения выбрана электрическая ПС с номинальными напряжениями 220/110/10 кВ и двумя автотрансформаторами по 125 МВА.

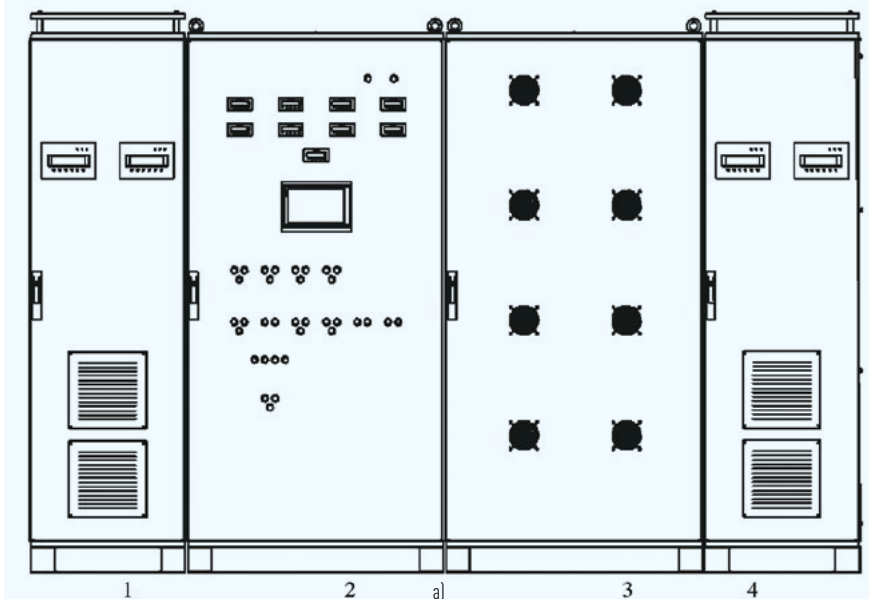
На объекте установлена СОПТ в составе:

- одна СКАБ;
- два зарядно-выпрямительных устройства (ЗВУ);
- один щит постоянного тока (ЩПТ).

Потребители постоянного тока, получающие питание от АБ, делятся на три группы:

- 1) постоянно включенная нагрузка — аппараты устройств управления, блокировки, сигнализации и релейной защиты, постоянно находящиеся под напряжением,

## СХЕМА (А) И ВНЕШНИЙ ВИД (Б) СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РЕЗЕРВНОГО ПИТАНИЯ (СОРП)



Обозначения: 1, 4 — зарядно-выпрямительное устройство (ЗВУ); 2 — шкаф коммутации; 3 — литий-ионные аккумуляторные батареи (ЛИАБ).

Рис. 1

## ФРАГМЕНТЫ ИНТЕРФЕЙСА СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА

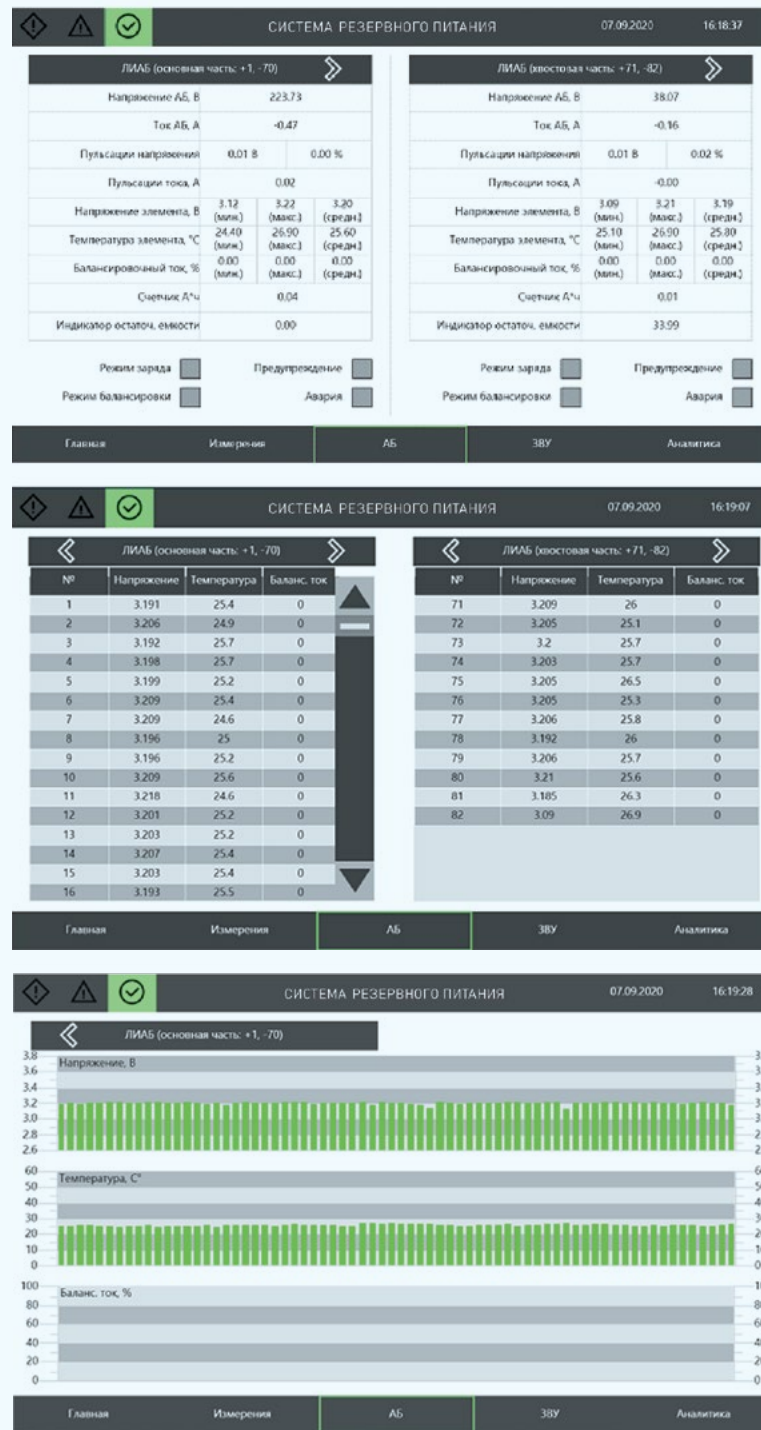


Рис. 2

а также постоянно включенная часть аварийного освещения. На рассматриваемой ПС величина постоянно включенной нагрузки и дежурного освещения составляет 7 А;

- временная нагрузка, появляющаяся при исчезновении переменного тока во время аварийного режима. Основную часть временной нагрузки составляет аварийное освещение. На рассматриваемой ПС временная нагрузка (считается совместно с постоянно включенной) составляет 12 А;
- кратковременная нагрузка длительностью не более 5 с, которая создается токами включения и отключения приводов высоковольтных выключателей. На рассматриваемой ПС величина кратковременной нагрузки составляет 720 А с временем коммутации 1,0 с.

В нормальном и аварийном режимах потребители шин управления (к ним относятся постоянно включенная и временная нагрузки) получают питание от 104 элементов АБ, потребители шин питания силовых цепей (к ним относятся кратковременные нагрузки) — от 123 аккумуляторов Vb 2311+ напряжением 2 В. Номинальная десятичасовая емкость АБ С<sub>10</sub> составляет 550 А·ч.

## НАЗНАЧЕНИЕ И СОСТАВ СОРП

СОРП предназначена для бесперебойного электроснабжения, существующего щита постоянного тока ПС напряжением постоянного тока с ЛИАБ в качестве источника гарантированного питания. При этом существующая СКАБ и ЗВУ должны быть отключены от ЩПТ и находиться в режиме подзарядки СКАБ с воз-

можностью подключения в ручном режиме к ЩПТ при невозможности эксплуатации СОРП.

В состав разработанной СОРП входят:

- одна ЛИАБ в шкафом исполнении, состоящая из аккумуляторов LT-LFP 170 с номинальной емкостью 170 А·ч в комплекте с системой контроля и управления;
- два ЗВУ НРТМ 60.220+40.48;
- один шкаф коммутации, включающий защитно-коммутационные аппараты, предназначенные для работы в сети 220 В постоянного тока, блок заряда, систему контроля и управления ЛИАБ, систему мониторинга.

Схема и внешний вид СОРП представлены на рис. 1.

Система мониторинга позволяет контролировать параметры ЛИАБ, такие как напряжение АБ, ток АБ, пульсации напряжения и тока, напряжение аккумуляторов, положение коммутационных аппаратов. На рис. 2 показаны фрагменты интерфейса системы мониторинга.

Структурная схема СОПТ с СОРП приведена на рис. 3.

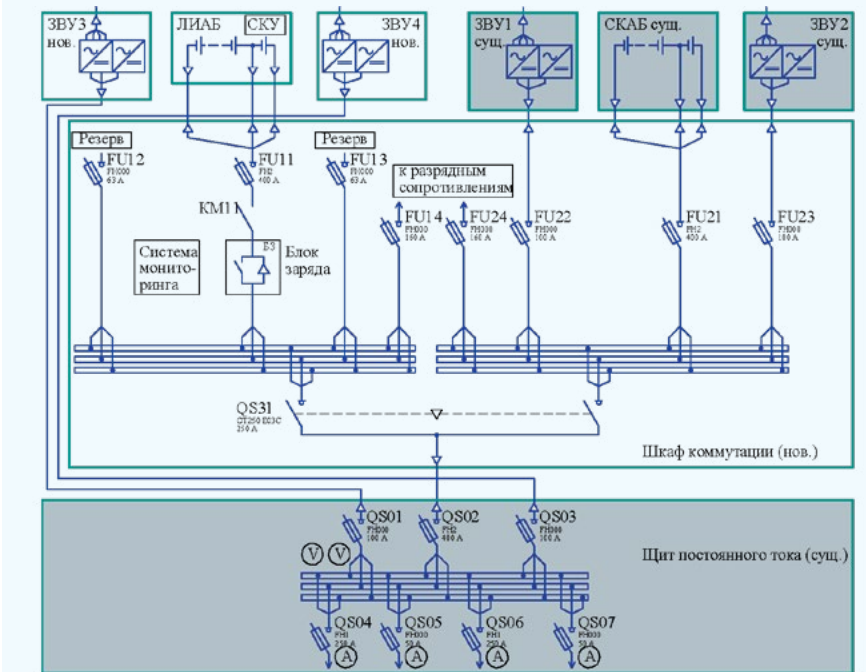
## ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СОРП

Основные технические характеристики СОРП приведены в табл. 1.

## ИСПЫТАНИЯ СОРП

Для подтверждения работоспособности системы обеспечения резервного питания была выпол-

## СТРУКТУРНАЯ СХЕМА СОПТ С СОРП



Обозначения: ЗВУ3 нов., ЗВУ4 нов. — вновь устанавливаемые ЗВУ, входящие в состав СОРП; ЗВУ1 сущ., ЗВУ2 сущ. — существующие ЗВУ, установленные на объекте; СКАБ сущ. — существующая СКАБ, установленная на объекте; шкаф коммутации нов. — вновь устанавливаемый шкаф коммутации, входящий в состав СОРП; ЩПТ сущ. — существующий ЩПТ, установленный на объекте; FU — предохранительный выключатель нагрузки; КМ11 — контактор аварийного отключения ЛИАБ (аварийный контактор); БЗ — блок заряда, рассчитанный на ЛИАБ не менее 170 Аh.

Рис. 3

нена проверка функционирования системы и ее отдельных элементов: ЗВУ, шкафа коммутации, релейной аппаратуры, системы контроля и управления ЛИАБ, системы мониторинга. Следует отметить, что одним из наиболее тяжелых режимов для источника оперативного постоянного тока на электрической ПС является режим автоматической сборки схемы.

Ввиду того что на выбранном объекте внедрения не предусмотрен режим автоматической сборки шин, в качестве испытательного цикла был использован режим автоматической сборки схемы на аналогичной электрической ПС 220 кВ, представленный в табл. 2.

В качестве нагрузки использовали испытательный стенд с активными сопротивлениями. Стенд был подключен к клеммам для присоединения разрядного сопротивления (см. рис. 3), а реверсивный рубильник QS31 переведен в нулевое положение.

Минимально допустимое напряжение на приводе высоковольтного выключателя составило 187 В, а падение напряжения в кабеле при толчковом токе — 32 В (для медного кабеля сечением 185 мм<sup>2</sup>, длиной 240 м, при протекании тока 720 А). Таким образом, минимально допустимое напряжение на шинах ЩПТ при толчковом токе должно быть не менее 219 В.

## ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СОРП

Параметр	Значение
Входное напряжение, В	380 ± 20%
Частота питающей сети, Гц	47–63
Число фаз	3
Номинальный выходной ток в рабочем режиме, А	60
Номинальное выходное напряжение, В	220
Номинальный выходной ток ЗВУ для заряда дополнительных элементов, А	40
Номинальное выходное напряжение ЗВУ для заряда дополнительных элементов, В	48
Номинальный ток сборных шин, А	250
Номинальный ток временной и постоянно включенной нагрузки (2 ч), А	12
Максимальный расчетный толчковый ток в конце аварийного разряда (1 с, А)	720
Тип аккумуляторной батареи	Литий-ионная (литий-железо-фосфатная)
Номинальная емкость аккумуляторной батареи, А·ч	170
Количество элементов аккумуляторной батареи	70 + 12
Габаритные размеры, В×Ш×Г, мм	2000×3200×600

Таблица 1

## ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ ЦИКЛ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СБОРКИ СХЕМЫ

Имитация режима включения	Тип привода	Ток длительно-стью 1 с, А	Выдержка времени от старта эксперимента, с
ШСВМ-220 1РВ1	ШПЭ-44	720	2
ВМ АТ-2 1РВ2	ШПЭ-44	720	4
ВМ Емелино-2 2РВ1	ШПЭ-42	720	6
ВМ Южная-2 2РВ2	ШПЭ-44	720	8
ВМ СУГРЭС-1 5РВ1	ППрК-1800С	5	10
ШСВМ 220 3РВ1	ШПЭ-44	720	12
ВМ АТГ-1 3РВ2	ШПЭ-44	720	14
ВМ Емелино-1 4РВ1	ШПЭ-42	720	16
ВМ Южная-1 4РВ-2	ШПЭ-46	440	18
ВМ СУГРЭС-2 5РВ1	ППрК-1800С	5	10

Таблица 2

Перед выполнением испытательного цикла были выполнены заряд, балансировка ЛИАБ и разряд током 12 А (соответствует постоянно включенной и временной нагрузке на объекте внедрения) в течение 2 ч, после чего разряд ЛИАБ остановили.

Через 1 мин после прекращения разряда был выполнен испытательный цикл автоматической сборки схемы в соответствии с табл. 2. Перед испытаниями и во время каждого включения нагрузки выполнялась регистрация напряжения всей ЛИАБ (82 элемента). Напряжение ЛИАБ во время выполнения испытательного цикла автоматической сборки схемы не опускалось ниже 232 В, что свидетельствует об успешности испытания.

Через 10 мин после выполнения цикла СОРП был подвергнут повторному циклу. Осциллограмма напряжения и график тока во время выполнения этого цикла приведены на рис. 4 и 5. Напряжение ЛИАБ во время выполнения повторного испытательного цикла автоматической сборки схемы также не опускалось ниже 232 В.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время в составе систем оперативного постоянного тока на электрических ПС широко распространено применение СКАБ. К достоинствам данного типа батарей относятся надежность и длительный срок службы (20 лет и более) при соблюдении условий эксплуатации, а также обширная нормативная база.

Однако батареи данного типа обладают рядом существенных недостатков, таких как:

- выделение водорода в процессе заряда, который в смеси с воздухом становится взрывоопасным,

## ОСЦИЛЛОГРАММА НАПРЯЖЕНИЯ ЛИАБ ВО ВРЕМЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ЦИКЛА АВТОМАТИЧЕСКОЙ СБОРКИ СХЕМЫ

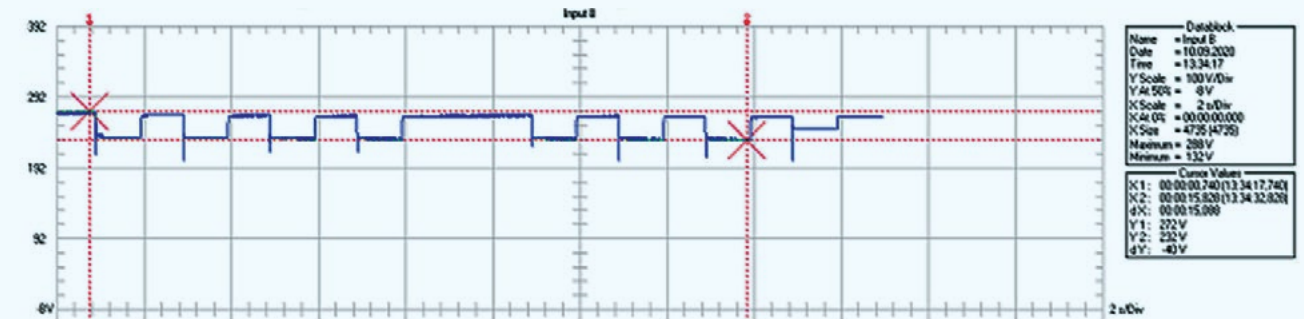


Рис. 4

## ГРАФИК ТОКА ЛИАБ ВО ВРЕМЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ЦИКЛА АВТОМАТИЧЕСКОЙ СБОРКИ СХЕМЫ

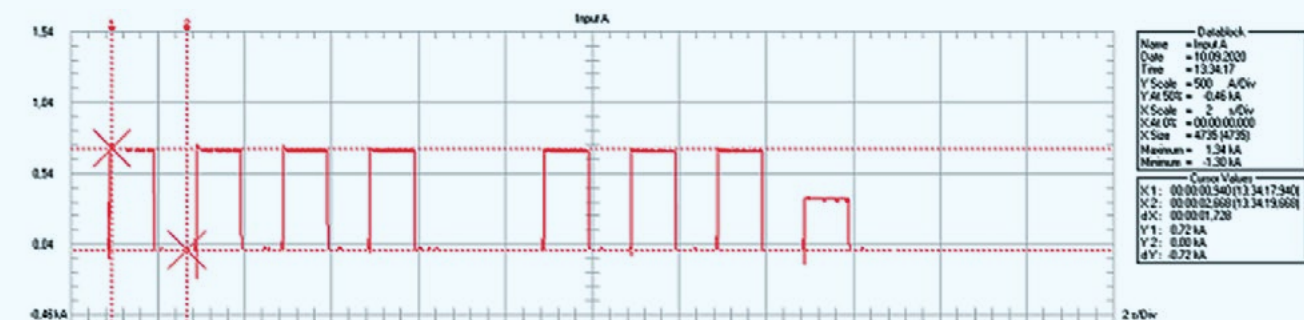


Рис. 5

что, как следствие, приводит к необходимости размещения батарей в специальном аккумуляторном помещении с обеспечением соответствующей инженерной инфраструктуры (отдельная система принудительной приточно-вытяжной вентиляции, взрывобезопасные светильники, обогреватели, огнестойкие двери), тамбура и кислотной;

- в качестве электролита используется раствор кислоты, что влечет за собой необходимость

укладки в аккумуляторном помещении пола из кислотостойкой плитки и окраски поверхностей кислотостойкой краской;

- необходимость частого обслуживания и контроля за состоянием батареи;
- заряд батареи после аварийного режима занимает не менее 8 ч.

В разработанном решении применяется перспективная для использования в СОПТ ЛИАБ.

Сравнительный анализ СКАБ Vb 2311+ и ЛИАБ LT-LFP 170 приведен в табл. 3.

Таким образом, среди преимуществ ЛИАБ по сравнению со СКАБ необходимо отметить:

- отсутствие выделения в процессе эксплуатации вредных веществ и возможность размещения АБ в различных помещениях без повышения их категории по взрывобезопасности и пожаробезопасности,

### СРАВНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК АККУМУЛЯТОРОВ Vb 2311+ И LT-LFP 170

№ п.п.	Параметр	Значение	
		Vb 2311+	LT-LFP 170
1	Номинальная емкость, А·ч	550	170
2	Количество элементов в АБ, шт.	123 (104+19)	82 (70+12)
3	Номинальное напряжение одного элемента, В	2	3,2
4	Встроенная защита от нештатных режимов	Нет	Есть СКУ
5	Непрерывный мониторинг состояния элементов	Нет	Есть СКУ
6	Время заряда АБ до 90%, ч	8	2
7	Габаритные размеры элемента [Д×Ш×В], мм	188×266×440	150×84×334
8	Масса элемента, кг	52,9	6,7
9	Масса батареи без учета стеллажа, кг	6507	550
10	Размещение	На стеллажах в специальном помещении	В шкафах непосредственно возле ЩПТ
11	Помещение для установки	Отдельное, категория В1а	Любое, не меняет категорию
12	Необходимая площадь, м <sup>2</sup>	Около 30	0,6
13	Необходимая для эксплуатации инженерная инфраструктура	Сооружение тамбура и кислотной рядом с аккумуляторным помещением. Установка отдельной от общей системы приточно-вытяжной механической системы вентиляции во взрывозащищенном исполнении. Установка взрывозащищенных светильников. Установка взрывозащищенных обогревателей. Установка огнестойких дверей. Оборудование в непосредственной близости от аккумуляторного помещения водопровода и канализации. Укладка в аккумуляторном помещении кислотостойкой керамической плитки. Покрытие кислотостойкой краской всех поверхностей в аккумуляторном помещении и кислотной	Нет необходимости

Таблица 3

- что позволяет сократить затраты на обустройство инженерной инфраструктуры;
- более высокая удельная энергоемкость и, как следствие, существенно меньшие массогабаритные параметры, что позволяет снизить капитальные затраты;
- меньшее внутреннее сопротивление, что обеспечивает лучшую

- способность отдавать толчковые токи;
- меньшее время заряда, что уменьшает время восстановления СОПТ;
- малообслуживаемость и возможность дистанционного контроля параметров АБ, что позволяет снизить эксплуатационные затраты и реализовать малолюдные технологии эксплуатации объектов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Методические указания по выбору оборудования СОПТ. Стандарт организации. СТО 56947007-29.120.40.216-2016 (с изменениями от 01.08.2019).
2. Положение ПАО «Россети» «О единой технической политике в электросетевом комплексе» (Приложение 1 к решению Совета директоров ПАО «Россети» (протокол заседания от 02.04.2021 №450)).



УЧРЕДИТЕЛЬ ЖУРНАЛА:  
ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЕТЕВАЯ  
КОМПАНИЯ ЕДИНОЙ  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ  
СИСТЕМЫ

# ЭНЕРГИЯ ЕДИНОЙ СЕТИ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

# ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ

### РАСПРОСТРАНЕНИЕ:

- Министерство энергетики Российской Федерации;
- Министерство обороны Российской Федерации;
- Государственная Дума Федерального Собрания РФ;
- ПАО «Россети»;
- ПАО «ФСК ЕЭС»;
- АО «СО ЕЭС»;
- отраслевые НИИ;
- вузы и библиотеки;
- инфраструктурные энергетические компании;
- производители и поставщики электротехнического оборудования;
- отраслевые мероприятия.

**Периодичность:** 6 раз в год  
**Тираж:** 3050 экземпляров  
**Учредитель:** «Россети ФСК ЕЭС»  
**Издатель:** «НТЦ Россети ФСК ЕЭС»

**Редакционная коллегия:**  
 представлена ведущими учеными и специалистами в энергетической области (докторов технических наук – 11, кандидатов технических наук – 9, членов-корреспондентов – 2).

**Журнал включен** в каталог «Пресса России» и ведет ежегодную подписную кампанию.

**Журнал включен** в «Российский индекс научного цитирования».

### Рубрики журнала:

- Электроэнергетика и электротехника
- Электрические машины и аппараты
- Трансформаторы и электрические реакторы
- Силовая преобразовательная техника
- Провода и кабели
- Электротехническое оборудование
- Электрические системы
- Средства РЗА
- Линии электропередачи и подстанции
- Возобновляемая энергетика

**Приглашаем авторов к публикации статей в научно-техническом журнале «Энергия единой сети».**  
**С правилами подачи заявки можно ознакомиться на сайте [www.Энергия-единой-сети.РФ](http://www.Энергия-единой-сети.РФ).**

### Контакты:

editor@энергия-единой-сети.рф  
 editor@ntc-power.ru

Тел.: + 7 (495) 118-43-65  
[www.Энергия-единой-сети.РФ](http://www.Энергия-единой-сети.РФ)

Зарегистрирован: в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор) 20 сентября 2012 г. Свидетельство о регистрации: № ПИ №ФС77-51276.