

Инновационная альтернатива использованию батарей для хранения энергии

Евгений БЕЛОБРАГИН
evgeniy.belobragin@ptelectronics.ru

Пассивные компоненты, в особенности конденсаторы, в наши дни находятся в процессе непрерывного совершенствования и, следовательно, вносят незаменимый вклад в технический прогресс в области электроники. Каждый день мы используем инновационные решения с растущим числом новых функций, наличие или выполнение которых оказалось возможным благодаря электронике. Одной из недавних инноваций в области пассивных компонентов стали конденсаторы с двойным электрическим слоем (Double-layer capacitor).

Построенная на основе принципа Гельмгольца система хранения энергии с двойным электрическим слоем может запасти, например, несколько тысяч джоулей, что сопоставимо с энергией в небольших батареях.

Описание конструкции

Конструкция конденсатора с двойным электрическим слоем (рис. 1) может быть описана как пластинчатый конденсатор, в котором акцент сделан на то, чтобы получить электроды с очень большой поверхностью. Электролит, проводящая жидкость между электродами, — это проводящая соль, растворенная в воде или органическом растворителе. Двойной слой состоит из ионов, которые при приложении внешнего напряжения притягиваются к электродам, имеющим противоположную полярность, что приводит к образованию диэлектрического слоя толщиной в несколько ангстрем. Проницаемая мембрана служит сепаратором, предотвращая

короткое замыкание электродов. В результате огромная площадь поверхности электродов дает очень большие значения емкости. Чтобы визуализировать это, достаточно сказать, что внутренняя поверхность конденсатора с двойным электрическим слоем могла бы покрыть футбольное поле.

Каскадированные модули PowerBlock

Из нескольких конденсаторов с двойным электрическим слоем можно построить конденсатор с огромной емкостью и необходимым рабочим напряжением, если каскадировать их последовательно либо параллельно. При выполнении данного процесса нельзя превышать номинальное напряжение отдельной ячейки, поскольку это может привести к разрушению электролита! Таким образом, последовательное соединение в любом случае требует балансирования, ведь немного отличающиеся характеристики старения ячеек могут, в зависимости от температуры, с течением времени приводить к различиям в емкости отдельных ячеек, а значит, и к разным падениям напряжения на них. Схему балансирования обычно встраивают в модуль

фабричным способом. Наиболее доступный и дешевый путь создания схемы балансирования — добавление простых резисторов в тех случаях, когда дополнительные потери на токи утечки через балансирующие резисторы не являются критичными для использования модуля. Альтернативой может служить активная схема балансирования, поддерживающая каждую ячейку под заданным напряжением посредством опорного напряжения. Это означает, что если цепь компаратора определяет начинающуюся перегрузку любой отдельной ячейки, начинается разряд ячейки через байпасный резистор R_{byp} .

Пассивное балансирование

Без резистора: напряжение обратно пропорционально емкости, таким образом локальное превышение напряжения на ячейке может легко случиться.

С резистором: напряжение пропорционально сопротивлению резистора R , таким образом напряжение четко фиксировано (рис. 2).

Активное балансирование

Компаратор сравнивает падение напряжения на конденсаторе с опорным напря-

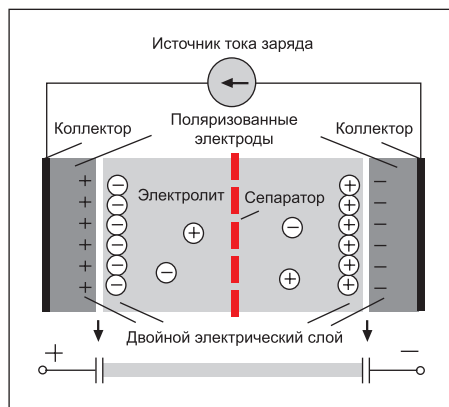


Рис. 1. Конструкция конденсатора с двойным электрическим слоем

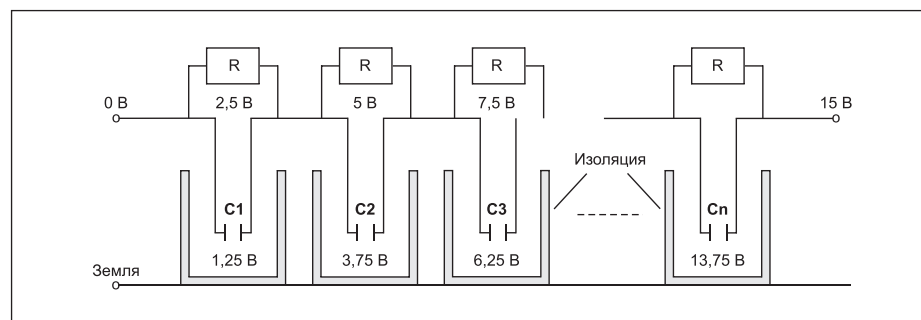


Рис. 2. Принципы пассивного балансирования

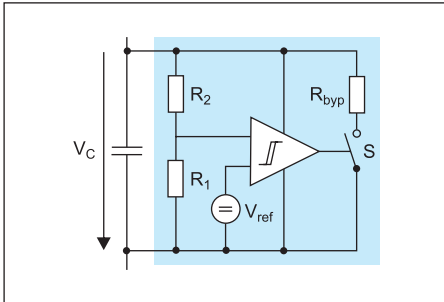


Рис. 3. Принципы активного балансирования

жением и переключает ячейку в режим разряда через байпасный резистор до тех пор, пока не будет устранено локальное превышение напряжения. Если исключить токи утечек ячеек, здесь нет значительных потерь, вызванных активным балансированием (рис. 3).

Преимущества в сравнении с другими решениями по хранению энергии

В основном конденсаторы с двойным электрическим слоем используются для поддержания напряжения, для быстрой отдачи электрической энергии — например, для обеспечения пиковых нагрузок или для защиты батарей, которые в результате могут быть выполнены более компактными, так как конденсатор буферизует пики тока. Типичным применением может быть быстрая отдача тока в сотни и тысячи ампер в цепях постоянного тока.

Модули WIMA PowerBlock (рис. 4), построенные на конденсаторах с двойным электрическим слоем, сочетают преимущества как традиционных конденсаторов (высокие токи разряда/заряда), так и батарей, наиболее известных устройств для хранения энергии. В отличие от хранения энергии посредством батарей напряжение заряда определяет объем энергии, поэтому неожиданный коллапс напряжения не может случиться с модулем PowerBlock.

Другое преимущество по сравнению с традиционными батареями и решениями с перезаряжаемыми батареями состоит в том, что модули PowerBlock не требуют операций обслуживания и имеют относительно малый вес, что делает их использование в изолированных системах, например в недоступных областях, абсолютно беспроblemным, в том числе еще и потому, что модули PowerBlock устойчивы к значительным изменениям температуры. При правильном применении срок жизни PowerBlock превышает 10 лет и может легко выдерживать более 1 млн циклов заряда/разряда с эффективностью свыше 90%. В сравнении с другими устройствами хранения энергии риск разрушения вследствие полного разряда абсолютно исключен для WIMA PowerBlock.

Стандартные модули WIMA PowerBlock

U _R , В	C _N , Ф	Габариты, мм			Макс. ESR _{DC} , мОм
		ширина	высота	длина	
16	105 500	157 157	69 156	250 250	5,2 2,1
62,5	125	283	156	439	8,2
125	62	409	156	575	16,4

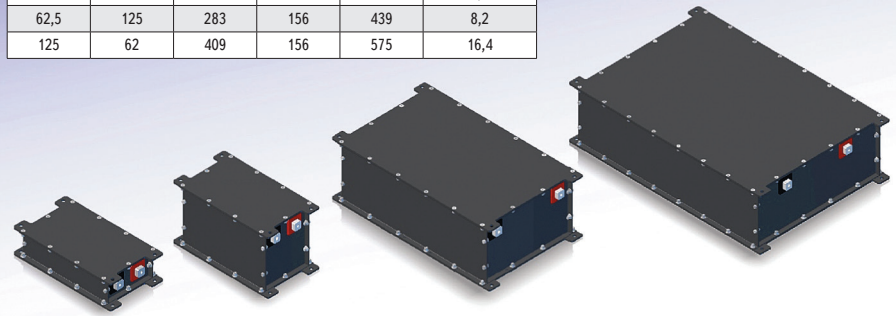


Рис. 4. Стандартные параметры модулей WIMA PowerBlock

Области применения для модулей WIMA PowerBlock

Запуск моторов

Модули WIMA PowerBlock заменяют, защищают или помогают традиционным батареям в надежном запуске больших дизельных двигателей, например в таких транспортных средствах, как:

- грузовики;
- строительные, сельскохозяйственные или гусеничные машины;
- автобусы и поезда;
- суда;
- генераторы и т. д.

В процессе запуска больших дизельных двигателей затраты энергии достаточно велики. При использовании модулей WIMA PowerBlock батарейный отсек может иметь существенно меньшие габариты и, соответственно, меньший вес, что приводит к значительному сокращению затрат на топливо и снижению вредных выбросов.

Железнодорожные технологии

Модули WIMA PowerBlock способны запасать энергию торможения и немедленно ее отдавать для запуска двигателей, ускорения

или сглаживания пиковых нагрузок, например в локомотивах или трамваях.

Использование модулей PowerBlock как устройств накопления энергии увеличивает эффективность и срок жизни транспортных систем, экономит вес и сокращает стоимость обслуживания, при этом они не вредят окружающей среде.

Гибридный/тяжелый транспорт

В гибридных силовых установках модули WIMA PowerBlock помогают дизельным двигателям справляться с неравномерными динамическими нагрузками, например:

- в городских автобусах;
- в строительных и сельскохозяйственных машинах и оборудовании для лесозаготовки;
- в вилочных погрузчиках, подъемных кранах и т. д.

Использование модулей WIMA PowerBlock для запаса энергии значительно сокращает потребление топлива, вредные выхлопы и шумность (рис. 5).

Беспилотные транспортные средства

Модули WIMA PowerBlock служат перезаряжаемыми или заменяемыми источника-

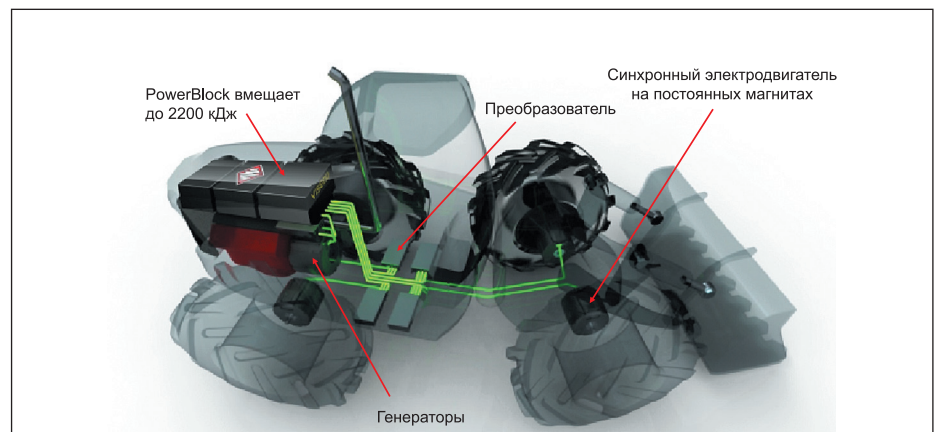


Рис. 5. Электрический колесный погрузчик WISEDO, использующий модули хранения энергии WIMA PowerBlock



Рис. 6. Источник больших токов, построенный на базе модулей WIMA PowerBlock

ми энергии в независимых, автоматически управляемых (беспилотных) транспортных средствах, используемых:

- в складских помещениях;
- на промышленных предприятиях;
- внутризаводских логистических системах и т. д.

Применение модулей PowerBlock в качестве источников энергии экономит вес, сокращает стоимость обслуживания, повышает эффективность и увеличивает срок службы транспортных систем.

Источники бесперебойного питания

Каскады из модулей WIMA PowerBlock находят применение в качестве аварийных источников питания:

- в госпиталях;
- в телекоммуникационных системах;
- на нефтедобывающих платформах;
- при добыче газа и т. д.

Уверенная защита от краткосрочных провалов напряжения позволяет предотвращать дорогостоящие поломки систем (рис. 6).

Ветряная энергетика

Модули WIMA PowerBlock применяются в энергонезависимых приводах ветряных электростанций, таких как:

- контроль скольжения;
- изменение угла вращающихся лопастей;
- управление скоростью вращения и т. д.

В связи со значительными изменениями температуры внутри гондолы ветряного генератора, устройства хранения энергии должны соответствовать строгим требованиям. Вследствие существенных преимуществ в стоимости обслуживания, сроков службы и весовых характеристик по сравнению с решениями, основанными на батареях, модули WIMA PowerBlock заметно увеличивают эффективность подобных систем.



Рис. 7. Параллельная гибридная камнедробилка ROCKSTER

Компетенции компании WIMA

Компания WIMA имеет многолетний опыт в разработке кастомизированных модулей хранения энергии, построенных на конденсаторах с двойным электрическим слоем. Создание и производство индивидуальных решений координируется с заказчиком.

- Преимущества заказчика:
- 10-летний опыт в производстве и эксплуатации.
 - Индивидуальный дизайн соответствует:
 - окружению;
 - требованиям по занимаемому объему;
 - требованиям по фиксации;
 - особенностям подключения.
 - Вариативность емкости и рабочего напряжения вследствие параллельного или последовательного каскадирования отдельных ячеек с емкостью от 350 до 3000 Ф.
 - Надежная лазерная технология сварки отдельных ячеек между собой.
 - Устойчивая, стойкая к вибрациям конструкция, отвечающая требованиям IP25...IP69.
 - Различные технические опции, как то:
 - контроль температуры;
 - сигнал о превышении напряжения;
 - контроль напряжения;
 - промышленный коннектор/CAN-коннектор;
 - адаптированное охлаждение;
 - класс защиты по требованиям заказчика.
 - Тестирование на стойкость к пульсирующим токам и напряжениям в соответствии со стандартами IEC 62576 или DIN EN 62391-1.
 - Производство прототипов и малых серий.

Кастомизированные решения

Гибридизация дизельных двигателей

Несмотря на то, что промышленная техника по-прежнему оснащена преимуще-

ственно дизельными и гидравлическими приводами, гибридизация напрашивается сама собой.

Ведь практически вся строительная, сельскохозяйственная, лесозаготовительная техника, доковые краны, вилочные погрузчики, автобусы и корабли буквально «мучают» свои дизельные двигатели, краткосрочно нагружая их по полной, а затем переходя на холостой ход, в то же время приводя в движение тяжелую технику. Если часто случаются пиковые нагрузки сглаживать электроникой, потребление топлива, так же как и вредные выбросы и шумы, будут значительно снижены.

Пределы для фильтрующихся частиц, оксидов азота и углекислого газа для внедорожной техники были кардинально снижены в Европейском союзе начиная с 2001 года. Единицы граммов каждого из этих загрязнителей воздуха на 1 кВт•ч, которые были допустимы тогда, сократились до десятых и сотых долей грамма после того, как в 2014 году были введены новые нормы.

Следовательно, требуются более эффективные решения, например основанные на модулях WIMA PowerBlock.

Пример 1. Параллельная гибридная камнедробилка ROCKSTER

Гибридная дизельная силовая установка (рис. 7) работает вблизи оптимальных оборотов двигателя и приводит в движение генератор для электромотора. Любые пиковые нагрузки смягчаются модулями PowerBlock, которые являются промежуточными накопителями энергии. Все компоненты охлаждаются водой и соответствуют строгим требованиям условий применения. Они специально разработаны для использования в мобильной строительной технике и защищены от пыли, грязи и воды. Более того, они устойчивы к вибрациям и сильным температурным флуктуациям.

Пример 2. Колесный погрузчик с гибридным приводом VISEDO

Тяжелые колесные погрузчики оснащаются дизельными двигателями, с мощностью порядка 300 кВт, которые приводят в движение как колеса, так и его гидравлическую систему. Вследствие двойственной функции они редко работают в пределах оптимальных режимов, в основном потому, что чаще перемещают груз с помощью гидравлики, чем посредством колес. Но обычно дизельные двигатели имеют замедленную реакцию для подобных применений. В этом они полностью отличаются от электродвигателей: в течение миллисекунд они из выключенного состояния выдают максимальный момент на валу, циклические переменные нагрузки обрабатываются более эффективно и позволяют точно дозировать усилие тяги, не разрешая пробуксовывать колесам даже в грязи. И все это происходит практически бесшумно.

Колесный погрузчик с двигателем мощностью всего 120 вместо 300 кВт может полностью использовать все эти преимущества. Двигатель функционирует в основном на постоянных оборотах и приводит в движение 125-кВт электрогенератор, вырабатывающий переменный ток, преобразуемый в постоянный 300-амперным преобразователем для работы четырех 75-кВт двигателей, установленных в непосредственной близости к колесам. Двигатели приводят их в действие и могут рекуперировать энергию торможения. Они контролируются 200-амперным инвертором, который в то же самое время перенаправляет рекуперированную энергию в модули PowerBlock, обеспечивающие запасание до 1 МДж!

В этом случае выигрыш в 25% в потреблении топлива достигнут в проектах заказчика. Так как потребление топлива тяжелой строительной техники, портовых кранов и сельскохозяйственной техники зачастую составляет 20 л/ч, экономия достигает 20 000 л дизельного топлива за 4000 рабочих часов, при этом выбросы углекислого газа уменьшаются почти на 53 т в год. Следовательно, гибридизация окупается в течение двух-четырех лет, потому что в сравнении с обычными дизельными машинами здесь есть еще одно важное преимущество: в работе тяжелой техники часто возникающие пиковые нагрузки буферизуются дешевыми конденсаторами вместо дорогостоящих батарей. Это делает гибридные машины более доступными и сохраняет окружающую среду. Также резко сокращается стоимость обслуживания, поскольку она практически не требуется электродвигателям, принимающим динамические нагрузки.



Рис. 9. Источник тока емкостью 25 Ф и номинальным напряжением 230 В

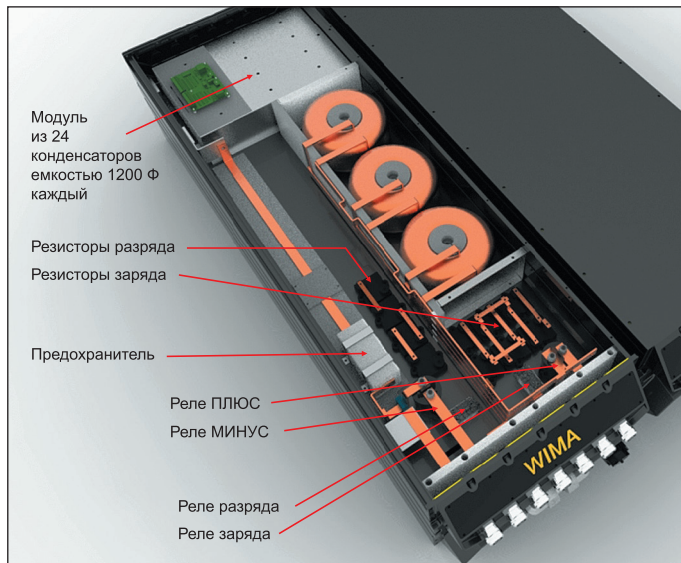


Рис. 8. Концепция хранилища энергии для гибридизации дизельного двигателя

Вследствие больших пиковых мощностей и неблагоприятных условий окружающей среды гибридизация мобильной техники предъявляет высокие требования к компонентам, которые должны быть надежно защищены от пыли, грязи и воды в соответствии с жесткими IP-стандартами, а также подтверждаться испытаниями на вибрации в 10g и ударные нагрузки в 50g.

Конструкция модулей хранения энергии WIMA PowerBlock изначально разработана в соответствии с условиями применения в тяжелой мобильной технике (рис. 8):

- модульный дизайн позволяет подстраиваться под требования в приложении заказчика;
- специальное проектирование для высокоциклических нагрузок в тяжелой мобильной технике;
- охлаждение водой или водно-спиртовой смесью;
- температурный диапазон: $-40 \dots +65$ °C;
- класс защиты: IP69;
- КПД: до 97%;
- высокая допустимая температура окружающей среды и срок службы свыше 90 000 ч;
- интегрированная система управления конденсаторами, включающая управление, защиту, контроль и коммуникационные функции (CANopen, SAE J-1939);
- дружественный интерфейс.

Станция подачи питания

Источники сверхбольших токов, требующиеся в качестве тестовых устройств или для трансформации в металлургии, теперь могут быть разработаны с использованием WIMA PowerBlock и вобрать в себя все преимущества с точки зрения характеристик, недостижимых ранее. Малое внутреннее сопротивление конденсаторов с двойным электрическим слоем, которые предлагает WIMA в каскадированных конструкциях, делает их идеальными для того, чтобы выдерживать огромные пульсирующие токи с периодом в несколько секунд.

На рис. 9 показана конструкция, предназначенная для режима разряда 230 В при 3000 А в течение 1,5 с, четыре модуля емкостью 100 Ф и напряжением 56 В каждый вертикально ориентированы и соединены последовательно в нижней части электрошкафа, что в сумме обеспечивает 25 Ф емкости. Внутреннее сопротивление всей сборки меньше чем 0,033 Ом. Конструкция дополнена секцией медных терминалов с сечением 150 мм². Доступное в свободной продаже зарядное устройство с ограничением тока заряда используется заказчиком для подзарядки. Корпус устройства заземлен.

Электрошкаф дополнительно оснащен внешним устройством разряда, состоящим из мощного полевого транзистора, который активирует разряд батареи током около 10 А в случае, если принудительно выключен главный выключатель. Время полного разряда порядка 8 мин. Состояние заряда отображается на стрелочном индикаторе вольтметра.

По запросу клиента модуль может быть снабжен устройством пассивного или активного балансирования. Также может быть предоставлен дополнительный сигнал оповещения о превышении напряжения или температуры.

Схематичная конструкция источника тока емкостью 137 Ф и номинальным напряжением 600 В

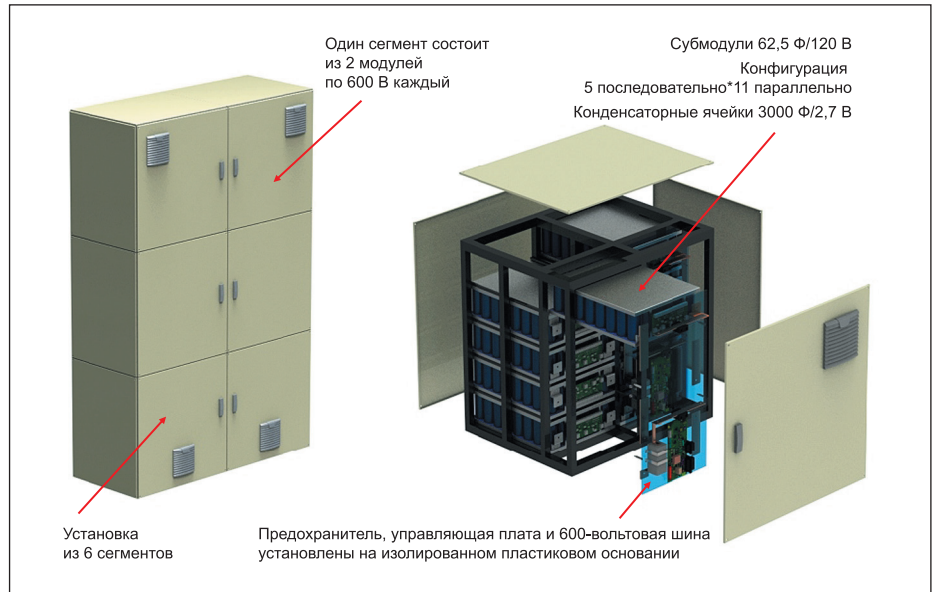


Рис. 10. Источник тока емкостью 137 Ф и номинальным напряжением 600 В

На рис. 10 представлено хранилище энергии, состоящее из 11 параллельно соединенных модулей по 600 В для достижения высокой емкости, которые в свою очередь содержат пять последовательно соединенных PowerBlock емкостью 62,5 Ф при напряжении 120 В. Вся конструкция обеспечивает мощность в нагрузке до 600 кВт в течение 20 с. В процессе изготовления особое внимание уделялось:

- простоте обслуживания (быстрая и легкая замена отдельных модулей в течение нескольких минут);
- безопасности (контроль токов/изоляции, установка предохранителей и т. д.);
- контроль индивидуальных ячеек (температура, напряжение);
- компактности установки.

Старт дизельных двигателей или микротурбин

Запуск V-образных 16- и 24-цилиндровых двигателей (6000 кВт), например таких как генератор дизель-электрического локомотива, или запуск дизельных двигателей судов требуют высоких токов; ток в 1300 А является вполне обычным (а пусковой момент требует еще больших токов). Зачастую колеччатый вал вращается двумя стартерами с обеих сторон (порядка 7 кВт каждый с принудительным отключением в течение времени от 9 с до 2 мин), чтобы избежать вращения больших масс.

Вследствие своих значительных преимуществ в обслуживании, сроке службы и массо-габаритных характеристик модули WIMA PowerBlock все чаще приходят на смену обычным стартерным батареям (рис. 11).

Конденсаторный модуль весит лишь одну десятую часть в сравнении с традиционными батареями и тем самым обеспечивает увеличение запаса хода до 25%, позволяя взять дополнительный запас топлива на борт (рис. 12, 13).

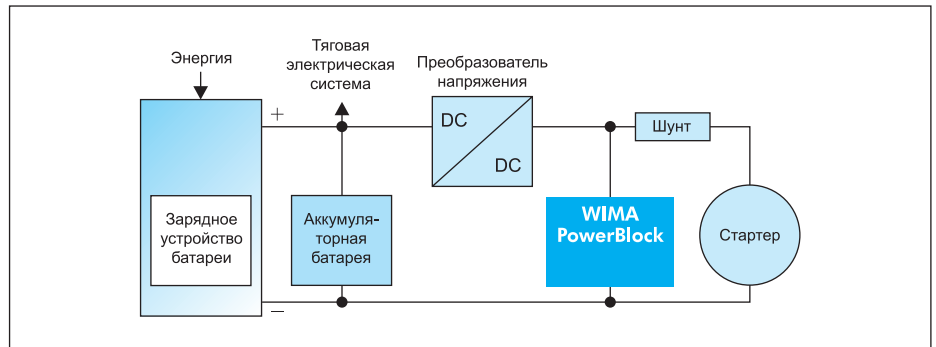


Рис. 11. Схема запуска двигателя с участием WIMA PowerBlock

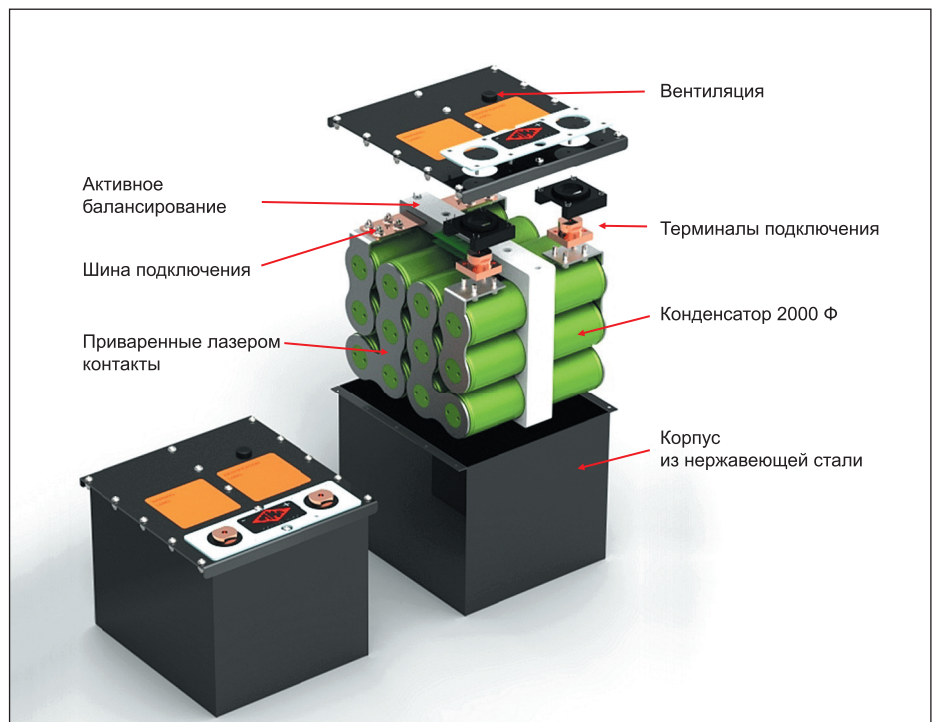


Рис. 12. Конструкция стартера мотора емкостью 333 Ф и номинальным напряжением 28 В

Рекуперация энергии торможения

Обычно при торможении огромное количество кинетической энергии теряется впустую. Эта кратковременно вырабатываемая энергия может запасаться в модулях WIMA PowerBlock и впоследствии использоваться при необходимости.

Кастомизированные решения: контроллер проскальзывания в ветрогенераторах

В больших ветряных электростанциях контроль проскальзывания разрабатывается для управления углом поворота каждой лопасти, что оказывает воздействие на скорость вращения. В случае слишком сильных порывов ветра возможна ситуация, когда силовая установка будет раскручена до предельных оборотов и сработает защита, отключая питание. Устройства изменения угла поворота лопастей не зависят от внешнего питания и для управления используют энергию, запасенную в батареях или конденсаторах с двойным электрическим слоем. Вследствие значительных перепадов температуры в верхней части мачты ветрогенератора устройства хранения энергии должны отвечать строгим требованиям. В зимнее время температура внутри гондолы порядка $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ может быть частым явлением, а при работе в летний период она может достигать даже $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$.

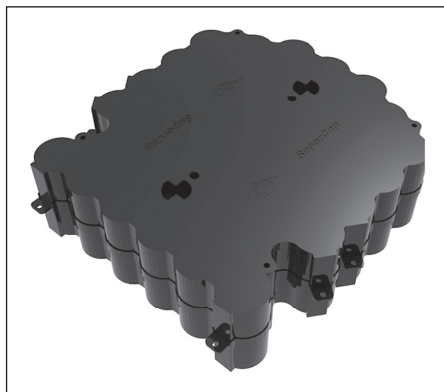


Рис. 13. Привод изменения угла поворота осей для ветрогенератора с емкостью 14 Ф при номинальном напряжении 165 В

Пусковые токи, превышающие 200 А даже для 3-кВт мотора, в подобных условиях вызывают серьезные проблемы у батарей. Для таких применений модули WIMA PowerBlock подходят значительно лучше, обеспечивая более стабильную работу, меньший вес и дешевое обслуживание.

Заключение

WIMA PowerBlock — это перспективные компоненты, предлагающие индивидуальные решения, отвечающие большинству со-

временных требований электроники. Они производятся исключительно в Германии и предлагают максимальную гибкость в разработках и функциональности.

Сегодня прогресс не стоит на месте, и очень отраднo наблюдать, как неудобные, вредные для окружающей среды, тяжелые, сравнительно мало живущие кислотные аккумуляторы большой емкости постепенно уступают место сборкам из суперконденсаторов, лишенных основных недостатков подобных аккумуляторов. Да, цены на них пока еще достаточно высоки. Да, они все еще не сравнялись по показателю плотности запасаемой энергии с традиционными аккумуляторами, но их способность быстро отдавать и, главное, быстро принимать огромные токи, их отличная стабильность характеристик в широком интервале температур, а также компактные размеры открывают им большие перспективы применения в различных отраслях техники. Инженеры компании WIMA еще на шаг приблизили будущее, и за это им огромное спасибо! Хочется верить, что вскоре разработчикам удастся создать конденсаторы, способные на равных побороться с аккумуляторами за то последнее преимущество, которое пока еще остается за аккумуляторами, — за высокую удельную емкость, потому что по всем остальным техническим параметрам суперконденсаторы уже давно выиграли бой. ■