

# ИННОВАЦИОННАЯ АЛЬТЕРНАТИВА ИСПОЛЬЗОВАНИЮ БАТАРЕЙ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ



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 стало 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 энергию, например несколько тысяч джоулей, что сопоставимо с энергией в небольших батареях.

## Описание конструкции

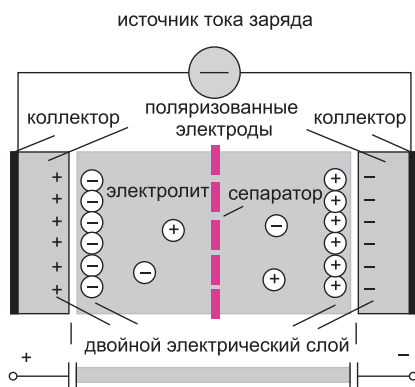


Рис. 1. Конструкция конденсатора с двойным электрическим слоем

Конструкция конденсатора с двойным электрическим слоем (рис. 1) может быть описана как пластинчатый конденсатор, в котором акцент делается 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 на-

пряжения притягиваются к электродам, имеющим противоположную полярность, что приводит к образованию диэлектрического слоя в несколько ангстрем толщиной. 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 каскадировании нельзя превышать номинальное напряжение отдельной ячейки, так как это может привести к разрушению электролита! Следовательно, последовательное соединение в любом случае требует балансирования, так как слегка различные характеристики старения ячеек в зависимости от температуры могут с течением времени приводить к различиям в емкости отдельных ячеек и, как следствие, различным падениям напряжения на них. Схема балансирования может быть встроена в модуль фабричным способом. Наиболее простой 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

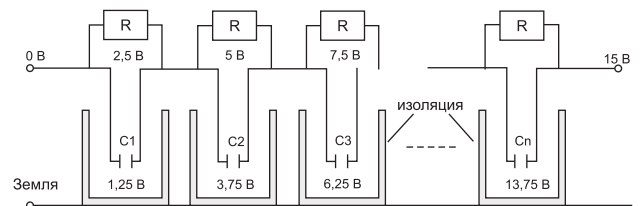


Рис. 2. Принципы пассивного балансирования

напряжением посредством опорного напряжения. Это означает, что если цепь компаратора определяет начинающуюся перегрузку любой отдельной ячейки, начинается разряд ячейки через байпасный резистор R<sub>бур</sub>.

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

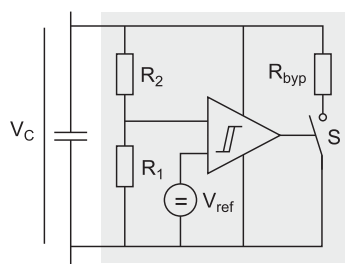
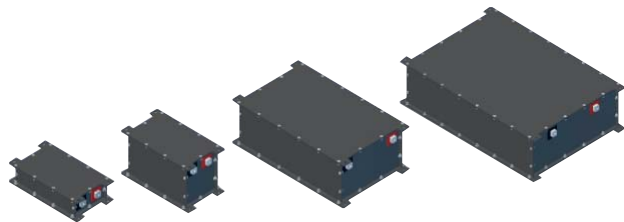


Рис. 3. Принципы активного балансирования

## 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



Стандартные модули WIMA PowerBlock

U <sub>R</sub>	C <sub>N</sub>	Габариты			Макс ESR <sub>DC</sub> , начальное
		ширина	высота	длина	
16 В	105 Ф	157	69	250	5,2 мОм
	500 Ф	157	156	250	2,1 мОм
62,5 В	125 Ф	283	156	439	8,2 мОм
125 В	62 Ф	409	156	575	16,4 мОм

Рис. 4. Стандартные параметры модулей Wima PowerBlock

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 в себе 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 миллиона циклов заряда/разряда с эффективностью более 90%. В сравнении с другими устройствами хранения энергии риск разрушения вследствие полного разряда абсолютно исключен для 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:

- грузовиках;
- строительных, сельскохозяйственных или гусеничных машинах;
- автобусах и поездах;
- судах;
- генераторах;
- и так далее.

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 могут запастись энергией торможения и немедленно ее отдавать для запуска двигателей, ускорения или сглаживания пиковых нагрузок, например в:

- локомотивах;
- трамваях;
- и т.д.

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

### Гибридный/тяжелый транспорт

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

- городских автобусах;

- строительных и сельскохозяйственных машинах и оборудовании для лесозаготовки;
- вилочных погрузчиков, подъёмных кранах;
- и т. д.

Использование модулей WIMA PowerBlock для запаса-ния энергии значительно сокращает потребление топлива, вредные выбросы и шумность.

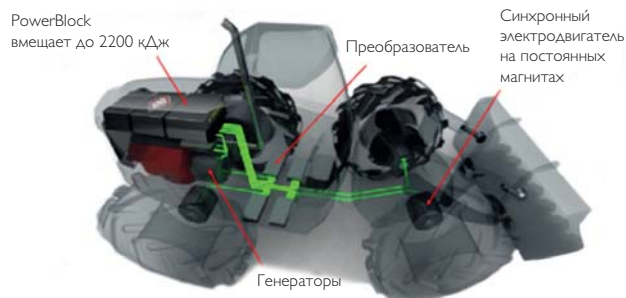


Рис. 5. Электрический колесный погрузчик VISEDO, использующий модули хранения энергии WIMA PowerBlock

### Беспилотные транспортные средства

Модули WIMA PowerBlock служат перезаряжаемыми или заменяемыми источниками энергии в независимых, автоматически управляемых (беспилотных) транспортных средствах, используемых в:

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

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

### Источники бесперебойного питания

Каскады из модулей WIMA PowerBlock используются как аварийные источники питания, например в:

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

Уверенная защита от краткосрочных просадок напряжения позволяет предотвращать дорогостоящие поломки систем.



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

### 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.

Из-за значительных изменений температуры внутри гондолы ветряного генератора, устройства хранения энергии должны соответствовать строгим требованиям. Вследствие значительных преимуществ в части стоимости обслуживания, сроков службы и весовых характеристик по сравнению с решениями, основанными на батареях, модули WIMA PowerBlock значительно увеличивают эффективность подобных систем.

### Компетенции компании WIMA

Компания WIMA имеет многолетний опыт в разработке кастомизированных модулей хранения энергии, построенных на конденсаторах с двойным электрическим слоем. Разработка и производство индивидуальных решений координируются 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 одиночных ячеек с емкостью от 350 Ф до 3000 Ф.
- Надежная лазерная технология сварки одиночных 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 строительная, сельскохозяйственная и лесозаготовительная техника остается оснащенной преимущественно дизельными и гидравлическими приводами, гибридизация напрашивается сама собой.

Практически вся строительная, сельскохозяйственная, лесозаготовительная техника, доковые краны, вилочные погрузчики, автобусы и корабли мучают свои дизельные дви-

гатели, краткосрочно нагружая свои двигатели по полной, а затем переходя на холостой ход, в то же время приводя в движение тяжелую технику. Если часто случающиеся пиковые нагрузки сглаживать электроникой, потребление топлива, так же как вредные выбросы и шумы, будет значительно снижено.

Пределы для фильтрующихся частиц, оксидов азота и углекислого газа для внедорожной техники были кардинально снижены Европейским союзом начиная с 2001 года: единицы граммов каждого из этих загрязнителей воздуха на 1 кВтч, которые были допустимы тогда, с введением новых норм в 2014 году сократились до десятых и сотых долей грамма.

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



Рис. 7. Параллельная гибридная камнедробилка ROCKSTER

Пример 1: Параллельная гибридная камнедробилка ROCKSTER (рис. 7).

Гибридная дизельная силовая установка 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 работы, в основном потому, что они чаще перемещают груз с помощью гидравлики, чем с помощью 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 позволяя пробуксовывать колесам даже в грязи. И все это происходит практически бесшумно.

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

В этом случае выигрыш в 25% в потреблении топлива был достигнут в проектах заказчика. Так как потребление топлива тяжелой строительной техники, портовых кранов и сельскохозяйственной техники зачастую составляет 20 литров в час, экономия составляет 20000 литров дизельного топлива за 4000 рабочих часов, при этом выбросы углекислого газа уменьшаются почти на 53 тонны в год. Следовательно, гибридизация окупается в течение двух-четырёх 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 стоимость обслуживания резко сокращается, так как практически не требуются



Прогресс не стоит на месте, и очень отрадно наблюдать, как неудобные, вредные для окружающей среды, тяжелые, сравнительно мало живущие кислотные аккумуляторы большой емкости постепенно уступают место сборкам из суперконденсаторов, лишенным основных недостатков аккумуляторов. Да, цены на них пока еще достаточно высокие, 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 определенно 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 уже в недалеком будущем разработчикам удастся создать конденсаторы, которые смогут 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.

Белобрагин Евгений,  
инженер по внедрению холдинга PT Electronics,  
evgeniy.belobragin@ptelectronics.ru



щие обслуживания электродвигатели принимают динамические нагрузки.

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 10 G и ударные нагрузки в 50 G.

Конструкция модулей хранения энергии WIMA PowerBlock была изначально разработана, чтобы соответствовать условиям применения в тяжелой мобильной технике:

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

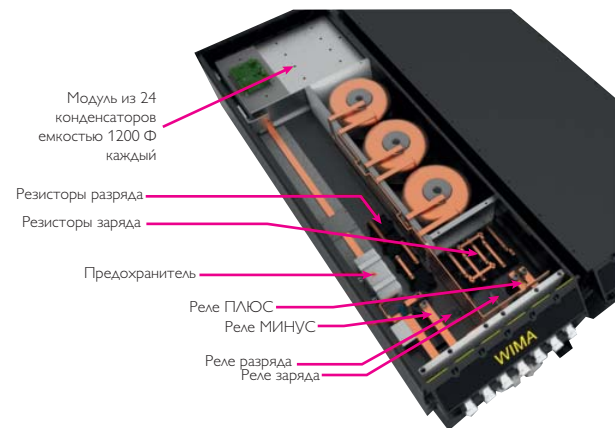


Рис. 8. Концепция хранилища энергии для гибридизации дизельного двигателя

### Станция подачи питания

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



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

Рисунок 9 показывает конструкцию, предназначенную для режима разряда 230 В при 3000 А в течение 1,5 секунды 4 модуля емкостью 100 Ф и напряжением 56 В каждый вертикально ориентирован и соединенные последовательно в нижней части электрошкафа в сумме обеспечивают 25 Ф емкости. Внутреннее сопротивление всей сборки меньше, чем 0,033 Ом. Конструкция дополнена секцией медных терминалов с сечением 150 мм<sup>2</sup>. Доступное в свободной продаже зарядное устройство с ограничением тока заряда используется заказчиком для подзарядки. Корпус устройства заземлен.

Электрошкаф дополнительно оснащается 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 минут. Состояние заряда отображается на стрелочном индикаторе вольтметра.

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

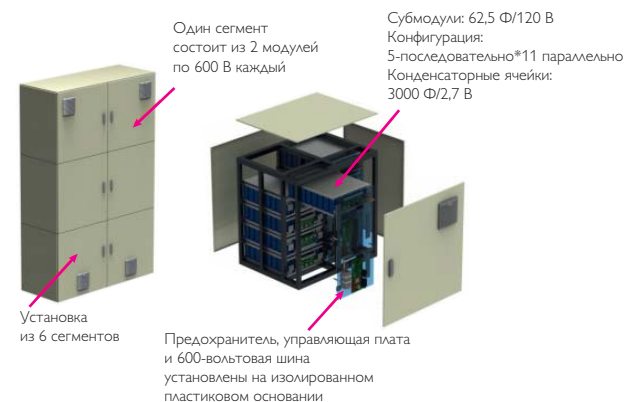


Рис. 10. Источник тока емкостью 137 Ф и номинальным напряжением 600 В



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

Рис. 10 показывает хранилище энергии, состоящее из 11 параллельно соединенных модулей по 600 В для достижения высокой емкости, которые в свою очередь состоят из пяти последовательно соединенных PowerBlock с емкостью 62,5 Ф при напряжении 120 В. Вся конструкция может обеспечивать мощность в нагрузке до 600 кВт в течение 20 секунд. В процессе изготовления особое внимание уделялось:

- простоте обслуживания (быстрая и легкая замена отдельных модулей в течение минут);
- безопасности (контроль токов/контроль 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 коленчатый вал вращается двумя стартерами с обеих сторон (порядка 7 кВт каждый с принудительным отключением в течение времени от 9 секунд до 2 минут), чтобы избежать вращения больших масс.

Вследствие своих значительных преимуществ в обслуживании, сроке службы и массо-габаритных характеристиках WIMA PowerBlock все больше и больше заменяют обычные стартерные батареи.

Конденсаторный модуль весит всего 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.

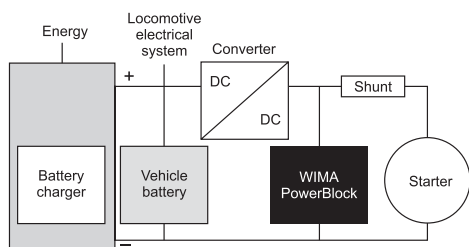


Рис. 11. Схема запуска двигателя с участием WIMA PowerBlock

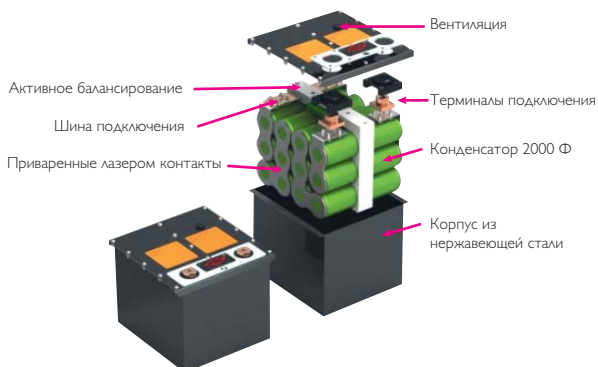


Рис. 12. Конструкция стартера мотора с емкостью 333 Ф и номинальным напряжением 28 В

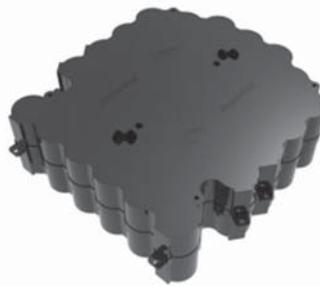


Рис. 13. Привод изменения угла поворота осей для ветрогенератора с емкостью 14 Ф при номинальном напряжении 165 В

## Рекуперация энергии торможения

Обычно огромное количество кинетической энергии теряется впустую при торможении. 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  $-40^{\circ}\text{C}$  может быть частым явлением, в то время как при работе в летнее время она может достигать даже  $+60^{\circ}\text{C}$ . Пусковые токи, превышающие 200 А даже для 3-кВт мотора, вызывают серьезные проблемы у батарей в таких условиях. Для подобных 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, подходящие для большинства современных требований электроники. Они производятся исключительно в Германии и предлагают максимальную гибкость в разработках и функциональности.



Более подробную информацию об этих и других компонентах WIMA вы можете получить в отделе пассивных компонентов компании ПТ Электроникс, написав на электронный адрес [passive@ptelectronics.ru](mailto:passive@ptelectronics.ru)